

KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU
Metsä- ja puutalouden markkinointi

Jaakko Oivukkamäki

MASSAN JAUHATUKSEN VAIKUTUS KOIVUN, MÄNNYN JA EUKALYPTUKSEN
PAPERITEKNISIIN OMINAISUUksiIN

Opinnäytetyö 2012

TIIVISTELMÄ

KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU

Metsä- ja puutalouden markkinointi

OIVUKKAMÄKI, JAAKKO

Massan jauhatuksen vaikutus koivun, männyn ja eukalyptuksen paperitekniisiin ominaisuuksiin

Insinööri

25 sivua ja 20 liitesivua

Työn ohjaaja

TkL Kauko Mononen

Toimeksiantaja

Kymenlaakson ammattikorkeakoulu

Maaliskuu 2012

Avainsanat

paperitekniset ominaisuudet, koivu, mänty, eukalyptus, jauhatus, sellu

Tämän opinnäytetyön tavoitteena on verrata keskenään kahta Suomessa kasvavaa ja yhtä trooppista puulajia. Vertailu suoritetaan laboratoriotestaamalla arkkeja, joita jauhettiin edellä mainituista puulajeista. Tavoitteena on löytää eroavaisuuksia eri puulajien ja eri jauhatusaikojen välillä.

Paperilaatujen testaus suoritettiin Kymenlaakson ammattikorkeakoulun paperilaboratoriossa keväällä 2011. Sellumassoista jauhettiin paperiarkkeja, jotka märkäpuristettiin ja kuivattiin standardoiduissa olosuhteissa. Arkkien kuivuttua niistä mitattiin optisia ja lujuusominaisuuksia ja mittausten jälkeen tulokset syötettiin Excel-taulukoihin ja ne taulukoitiin vertailun helpottamiseksi.

Tuloksissa massoja ei laiteta paremmuusjärjestykseen, mutta eroja massojen välillä on nähtävissä. Männyn pitkäkuituisuudesta johtuen sillä on paremmat lujuusominaisuudet kuin lehtipuilla, kun taas koivulla ja eukalyptuksella on paremmat optiset ominaisuudet.

ABSTRACT

KYMENLAAKSO UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Forest products marketing

OIVUKKAMÄKI, JAAKKO

The effect of grinding on paper properties on paper made from birch, pine and eucalyptus pulps

Bachelor's thesis

25 pages + 20 pages of appendices

Supervisor

Kauko Mononen, LicSc (Tech.)

Commissioned by

Kymenlaakso University of Applied Sciences

March 2012

Keywords

birch, pulp, grinding, eucalyptus, pine, paper

The purpose of this bachelor's thesis was to find differences between two pulps that grow in Finland and one that grows in the tropic. This comparison was done by testing sheets of paper made from these pulps in a laboratory. The objective was to find differences between the pulps and the varying grinding times.

The testing of the paper grades was done in Kymenlaakso University of Applied Sciences paper laboratory in the spring of 2011. The different kinds of pulp were ground into sheets of paper, which were then wet pressed and dried in standardized conditions. After the sheets had dried they were tested for optical and strength properties and the results were entered into excel-sheets and tabulated for convenience.

The results were not classed into an order of superiority, but differences between the pulps can be seen. Because it has such long fibers compared to the deciduous trees, paper made from pine has much better strength qualities, whereas paper made from birch of eucalyptus has better optical qualities

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

1	JOHDANTO	6
1.1	Työn tausta	6
1.2	Työn tavoitteet	6
1.3	Työn viitekehys ja tutkimuksen rajaus	6
2	PUULAJIT	7
2.1	Mänty	7
2.2	Koivu	8
2.3	Eukalyptus	8
3	MASSAT	9
3.1	Sulfaattimassa	9
3.2	Sellun jauhatus	10
4	NÄYTEARKKIEN VALMISTUS	11
4.1	Jauhatus	11
4.2	Massan Schopper-Riegler-luku	11
4.3	Arkkien valmistus ja kuivaus	11
5	ARKKIEN LABORATORIOTESTAUS	12
6	TYÖMENETELMÄT	14
6.1	Kirjallisuus	14
6.2	Laboratoriotutkimukset	14
6.3	Taulukointi	14
7	TULOSTEN TARKASTELU	15
7.1	Paksuus	15
7.2	Vaaleus	15

7.3	Opasiteetti	16
7.4	Kiilto	17
7.5	Sileys	17
7.6	Ilmanläpäiseväisyys	19
7.7	Vetolujuus	19
7.8	Venymä	20
7.9	Repäisylujuus	21
7.10	Tuhka	21
8	VIRHEARVIOINTI	22
9	JOHTOPÄÄTÖKSET	23
9.1	Massojen soveltuvuus lopputuotteiksi	23
9.2	Ekologinen näkökulma	24
9.3	Tulevaisuuden näkymät	24

LIITTEET

Liite 1. Schopper-Riegler-luvut

Liite 2. Mittauspöytäkirjat

Liite 3. Minolta Spektrofotometrillä mitatut optiset ominaisuudet

Liite 4. Puulajien veto- ja repäisyindeksit

1. JOHDANTO

1.1. Työn tausta

Viime vuosikymmenen aikana Suomen metsäteollisuus on ollut muutoksen kourissa. Metsäsektorilla on suoritettu tarpeellista rakennemuutosta, jotta suomalaiset metsäyhtiöt pystyisivät jatkossakin kilpailemaan ulkomaisten yritysten kanssa. Samalla kun metsäyhtiöt sulkevat sahoja ja paperitehtaita Suomessa ja muualla Euroopassa, ne investoivat uusille alueille, kuten Etelä-Amerikkaan. Kun paperinvalmistuksen painotus siirtyy enemmän etelämmäksi, myös raaka-ainepohja kasvaa. Tästä esimerkkinä on eukalyptus, jonka suosio raaka-aineena on kasvanut merkittävästi viime aikoina. Eukalyptuksen suosioon ovat vaikuttaneet sen nopea kasvu ja hyvät ominaisuudet, jonka takia se valittiin tähän insinööritoimintaan yhdeksi vertailtavista puulajeista. Kaksi muuta työssä käytettyä puulajia ovat mänty ja koivu.

Ensiksi työssä jauhatetaan mänty-, koivu- ja eukalyptusmassat ja tehdään niistä arkkeja. Arkkien kuivuttua ne testataan laboratoriossa ja tulokset kirjataan ja niitä verrataan keskenään.

1.2. Työn tavoitteet

Työn tavoitteena on tarkastella eri puulajeista tehtyjen sellumassojen eroavaisuuksia. Työhön valittiin puulajeiksi mänty, koivu ja eukalyptus, jotta olisi mahdollista tehdä vertailua Suomessa pitkään käytössä olleiden (männyn ja koivun) ja uudemman (eukalyptuksen) puulajin välillä. Kaikki tutkimuksessa käytetyt massat ovat sulfaattimassoja. Tutkimuksessa myös vertailtiin lyhyempien ja pidempien jauhatusaikojen vaikutusta paperin mekaanisiin, optisiin ja pinnan laadullisiin ominaisuuksiin.

1.3 Työn viitekehys ja tutkimuksen rajaus

Työssä tutkittiin kolmen eri sulfaattisellusta jauhetun massan ominaisuuksia jauhatusajan funktiona. Jokaista massaa jauhettiin 60 minuuttia ja massasta otettiin näytteet 5, 20, 40 ja 60 minuutin kohdalla. Näin voitiin tarkastella eri puulajeista

tuotettujen massojen eroavaisuuksia, mutta myös jauhatusajan vaikutusta paperin ominaisuuksiin.

2. PUULAJIT

2.1 Mänty (*Pinus sylvestris*)

Maapallolla on noin 100 mäntylajia, joista Suomessa kasvaa vain yksi. Mänty on levinnyt lähes koko Suomeen Lappia lukuunottamatta ja sen osuus Suomen puustosta on 44 %. Männyn levittäytymistä on helpottanut se, että se ei ole tarkka kasvupaikan ravinteikkuudesta, kunhan mänty saa tarpeeksi valoa. Mänty kasvaa Suomessa useimmiten karuilla mailla, koska rehevillä mailla sen syrjäyttävät helposti lehtipuut. Mänty on myrskynkestävä puu: juuriensa ansiosta se voikin kasvaa satojen vuosien ikäiseksi ja saavuttaa lähes 40 metrin korkeuden. (1.)



Kuva 1. Mänty (*Pinus sylvestris*) (2.)

2.2 Koivu

Lähes koko Suomessa esiintyvä koivu (*Betula*) kasvaa aina Kittilän korkeudella saakka. Suomessa yleisimmät koivut ovat hieskoivu (*Betula pubescens*) ja rauduskoivu (*Betula pendula*). Ne vaativat kasvaakseen ravinteikkaan ja kosteahkon maaperän ja paljon valoa. Koivua käytetään Suomessa yleisesti lehtipuusellun raaka-aineena. Koivut voivat kasvaa noin 20–30 metrin korkeuteen ja kestävät hyvin ilmansaasteita ja myrskyjä. (10, 470-471.)



Kuva 2. Koivu (*Betula*) (3.)

2.3 Eukalyptus

Eukalyptus on eteläisellä pallonpuoliskolla kasvava puulaji, joka on tunnettu nopeasta kasvustaan. Tämän takia eukalyptusta on viime vuosikymmeninä käytetty koko ajan enemmän metsäteollisuuden tarpeisiin. Eukalyptusta käytetään muun muassa rakentamiseen, puusepän-teollisuuteen ja paperin valmistamiseen. Suurten sademetsäalojen muuttaminen eukalyptuspelloiksi on aiheuttanut sen, että tunteet eukalyptusta kohtaan ovat ristiriitaisia. (4.)



Kuva 3. Eucalyptus (*Eucalyptus camaldulensis*)(4.)

3. MASSAT

3.1 Sulfaattimassa

Paperintuotannossa käytetään mekaanisia, kemi-mekaanisia ja kemiallisia massoja. Kemialliset massat voidaan vielä jakaa sulfaatti ja sulfiittimassoihin. Tässä työssä kaikki käytetyt massat olivat sulfaattimenetelmällä valmistettuja. Sulfaattimenetelmä on yleisempi kuin sulfiittimenetelmä, johtuen sulfaattimassojen tuotannon huomattavasti pienemmistä päästöistä ja mahdollisuuksista kierrättää osa sulfaattiprosessin raaka-aineista.

Sulfaattikeitossa, toisin kuin sulfiittikeitoissa käytetään vahvan emäksistä liuosta, jonka tarkoituksena on suurilta osin poistaa kuituja toisiinsa sitova ligniini välilamellista ja sekundääriseinämästä. Ennen varsinaista keittoprosessia erä- tai jatkuvatoimisessa vuokeittimessa, puuraaka-aine haketetaan, kuoritaan ja lämmitetään. Keittoon lisätään mustalipeää, joka auttaa erottelemaan ligniiniä. Mustalipeä pyritään poistamaan mahdollisimman hyvin keiton pesuvaiheessa. Keittoajalla ja -lämpötilalla voidaan myös

säätää ligniinipitoisuutta halutulle tasolle. (5, 75.)

3.2 Sellun jauhatus

Sellun jauhatusasteella on suuri merkitys paperin ominaisuuksiin. Jos massaa ei jauheta tarpeeksi, puukuitujen sitoutumisominaisuuksia ei saada tarpeeksi esille ja paperi jää karheaksi, sekä formaatioltaan huonoksi. Liika jauhatus heikentää paperin optisia ominaisuuksia, joten on tärkeää löytää oikea tasapaino jauhatusajan ja haluttujen ominaisuuksien välillä. (5, 75.)

Sellun jauhatuksella on massaansa kuusi erilaista ensisijaista vaikutusta:

1. Kuitujen ulkoinen fibrillaatio. Kuitujen primäärikalvon poistuessa kuitujen ulkokerrokset osittain irtoavat ja haiventuvat. Tämä johtaa kuitujen parempaan sitoutumiseen haivenien paremman jäykkyyden ja ulottuvuuden takia.
2. Kuitujen sisäinen fibrillaatio. Sisäisessä fibrillaatiossa vesi tunkeutuu kuidun seinämien väliin, joka johtaa kuidun notkistumiseen. Sisäisessäkin fibrillaatiossa kuidun ulkoseinämät rikkoutuvat osittain tai kokonaan, kasvattaen kuidun sidoslujutta.
3. Kuitujen suoruus muuttuu jauhatuksessa, joko suoristuen tai kähertyen riippuen sakeudesta.
4. Kuitujen katkeaminen ja niiden keskipituuden lyheneminen. Valmiiksi lyhytkuituisilla selluilla tämä vaikutus ei ole toivottu.
5. Kun kuituseinämät jauhautuvat pieniin osiin, syntyy hienoaainetta, joka sitoo kuituja paremmin yhteen.
6. Mekaanisissa massoissa esiintyvää kuitujen täydellistä tai osittaista liukenemista. (6, 113, 114.)

4. NÄYTEARKKIEIN VALMISTUS

4.1 Jauhatus

Työssä käytettävät massat jauhettiin VALLEY-hollanterilla, joka oli SCAN-C 25:76 mukaan standardisoitu. Massan sakeudeksi hollanderissa pyrittiin saamaan 15,7 g/l, joten kutakin massaa tarvittiin 360 g. Massat olivat lionneet vedessä vähintään neljä tuntia, jonka jälkeen hollanteri täytettiin vedellä ja massat revittiin sekaan pieniksi paloiksi, jotta hollanterin jauhasterät eivät menisi tukkoon. Tämän jälkeen hollanteri kytkettiin päälle ja otettiin aikaa. Hollanterin altaassa oli jatkuvat pyörimisliike, jotta massa jauhautuisi tasaisesti. Näytteet otettiin jokaisesta puulajista erikseen 5, 20, 40 ja 60 minuttin jauhamisen jälkeen (5, 75.).

4.2 Massan Schopper-Riegler-luku

Massan jauhatusastetta mitattiin Schopper-Riegler -luvulla (SR-luku). SR-luvun mittaamisessa käytettiin SCAN-C 19:65 kalibroitua Schopper-Riegler -laitetta, jonka läpi kaadettiin 1 litra 2 g/l sakeudessa olevaa sulppua. Sulppu suodattui mitta-astiaan, jossa oli sivussa SR-asteikko. Kaiken nesteen valuttua läpi mitta-astian sivusta olevasta asteikosta luettiin kunkin jauhatusasteen SR-luku. (9, 22.)

4.3 Arkkien valmistus ja kuivaus

Hollanterista nostettiin 150 ml sulppua joka kaadettiin arkkimuottiin, joka täytettiin vedellä. Kun muotti oli täynnä, käynnistettiin paineilmalla toimiva sekoitusjärjestelmä. Sulpun ja veden sekoituttua pohjaventtiili avattiin ja veden valuessa pois arkkimuotista, muodostui viiralle arkki, joka imupapereiden ja stanssin avulla kuivattiin ja asetettiin muovilevyn päälle pinoamiskehikkoon. Jokaisen valmistetun arkin ylä- ja alapuolelle laitettiin 3 imupaperia ja arkit erotettiin toisistaan muovilevyillä. Arkkien lopullinen kuivaus tapahtui ammattikorkeakoulun rakennuslaboratoriossa, jossa arkkipinoja kuivattiin märkäpuristimella. Pinot asetettiin puristinlevyjen väliin viideksi minuutiksi. Märkäpuristuksen loputtua arkit eroteltiin niin, että kunkin arkin molemmilla puolilla oli yksi imupaperi, jonka jälkeen ne ladottiin kuivauslevyille paperilaboratorioon. Laboratoriossa arkit kuivuivat kolmen päivän ajan, jonka jälkeen aloitettiin testaus.

5. ARKKIEN LABORATORIOTESTAUS

Arkkeja oli kutakin puulajia ja jauhatusta kohden kuusi arkkiä. Tehtaalla valmistettuun paperiin verrattuna näytearkit olivat pienempiä, eikä niissä ollut kone- tai poikkisuuntaa. Arkkien testaamiseen käytettiin SCAN-standardimenetelmää. Testauksien aikana laboratoriossa pyrittiin pitämään lämpötilana noin 23 °C ja vakioilmankosteutena noin 50 %.

Neliömassa

Arkkien sivujen pituudet mitattiin ja arkit punnittiin vaa'alla. Neliömassa (g/m^2) laskettiin tämän jälkeen seuraavalla kaavalla:

$$W = 10000m/A$$

jossa

W = kappaleen neliömassa, g/m^2

m = kappaleen massa, g

A = kappaleen pinta-ala, cm^2 (8.)

Paksuus

Arkkien paksuus mitattiin yksitellen kalibroidulla mittauslaitteella. Paperiarkki sijoitettiin kahden mittauslevyn väliin, joka mittasi lukeman 1 mikrometrin tarkkuudella.

Vaaleus ja opasiteetti

Paperin optisten ominaisuuksien kannalta tärkeä ISO-vaaleus mitattiin Minolta spektrofotometrillä, asettamalla pino arkkeja spektrofotometriin. Samalla laitteella mitattiin myös arkkien opasiteetti, asettamalla arkki mustaontelon ja mittauskameroiden väliin.

Kiilto

Paperin kiilto-ominaisuudet mitattiin paperilaboratorion Zehntner-mittarilla. Mittaus tapahtui asettamalla paperi tasaisena mittarin alle, joka heijasti siihen yhdensuuntaisen valon, jonka tulo- ja havaitsemiskulmat ovat 75 °C.

Sileys

Arkkien sileys mitattiin Bendsen-mittarilla asettamalla metallirengas näytearkin päälle ja laskemalla ilmavirtaus arkin ja renkaan välistä 150 mm wp:n paine-eron vallitessa.

Ilmanläpäiseväisyys

Paperin ilmanläpäiseväisyys mitattiin Bendsen-mittarilla, joka oli varustettu ilmaläpäiseväisyys-mittauspäällä. Ilmanläpäisevyyttä testattaessa mitattiin ilmaa, joka menee läpi 10 cm² kokoiselta alueelta 150 mm wp:n paine-erolla.

Vetolujuus ja venymä

Paperin vetolujuus ilmaisee, kuinka paljon paperi kestää vetoa pinnan suuntaisesti, ennen kuin se katkeaa. Venymä kertoo paperin pituuden lisäyksen suhdetta juuri ennen katkeamista verrattuna alkuperäiseen pituuteen. Vetolujuuden laskemista varten jokaisesta arkista tuli leikata tasan 15mm:n levyinen ja noin 150 mm:n pituinen koepala.

Repäisylujuus

Arkkien repäisylujuus mitattiin 62 x 50 mm kokoisista näytteistä. Näytteet olivat neljän pinoissa ja niihin tehtiin alkuviihlo. Alkuviihlon jälkeen koneen heiluri päästettiin irti ja kone laski arkkien repäisylujuuden.

Tuhka

Paperin tuhkapitoisuus saatiin polttamalla tietty määrä paperia noin 925 celsius asteen

lämpötilassa ja vertaamalla tuhkan painoa näytteen alkuperäiseen painoon ennen palamista. Polttamalla näyte saatiin tietää, kuinka monta prosenttia paperista on epäorgaanista ainetta. Tuhkaprosentti saatiin kaavalla:

$$X = a / m * 100$$

jossa

X = tuhkan määrä, %

a = poltetun näytteen paino, g

m = alkuperäisen näytteen paino, g (8.)

6. TYÖMENETELMÄT

6.1 Kirjallisuus

Ennen kokeellisen osuuden aloittamista tutustuin paperin testausta ja paperitekniikkaa käsittelevään kirjallisuuteen, kursseilla jaettuihin materiaaleihin sekä insinööritöihin joita aiheesta oli tehty aikaisemmin. Osaa näistä käytettiin lähteinä insinööritöitä tehdessä. Aiheesta tehty kirjallinen aineisto oli laaja, mutta ajantasaista ja informaatiota oli välillä hankalaa löytää

6.2 Laboratoriotutkimukset

Kaikki insinööritöiden testaukset suoritettiin Kymenlaakson ammattikorkeakoulun paperilaboratoriossa, jossa oli hyvät puitteet paperin testaamisen kannalta. Laboratorion sisäilmaa mitattiin jatkuvasti tasaisen lämpötilan ja kosteuden ylläpitämiseksi. Kaikki mittalaitteet kalibroidaan määräajoin ja ne olivat hyvässä kunnossa. Testaukset suoritettiin standardoiduin menetelmin.

6.3 Taulukointi

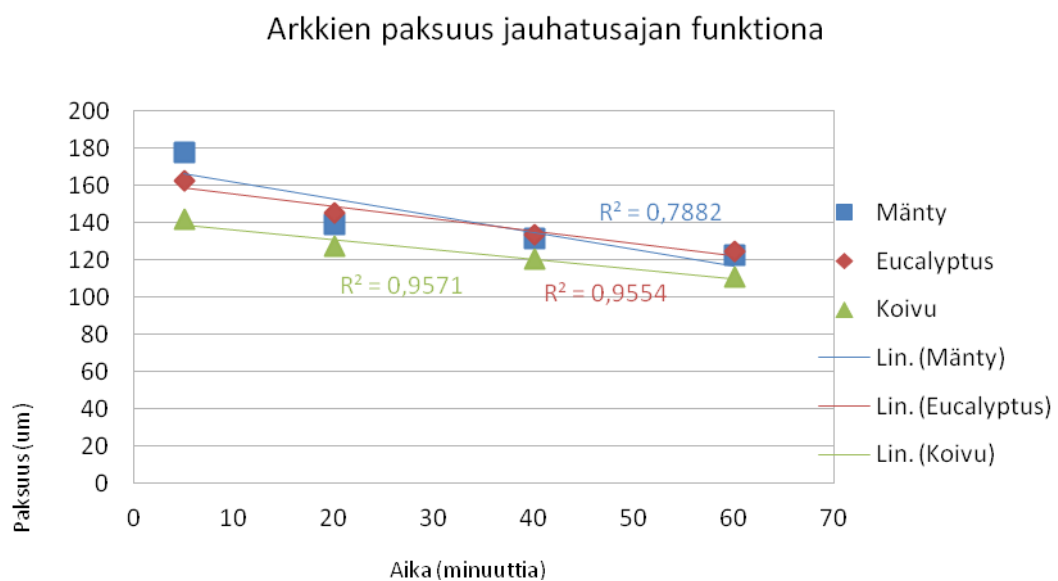
Testaustulokset tallennettiin MS Excel ja Open Office Calc -ohjelmien avulla taulukoihin. Taulukoista koottiin kuvaajia, joissa vertailtiin muuttujaa (y) jauhatusajan funktiona (x). Kuvaajiin myös liitettiin jokaiselle puulajille erikseen trendiviivat ja korrelaatioluvut kertomaan saman puulajin tulosten korrelaatiosta keskenään. Tuloksista

kootut taulukot on koottu opinnäytetyön liitteisiin.

7 TUTKIMUKSEN TULOKSET JA NIIDEN TARKASTELU

7.1 Paksuus

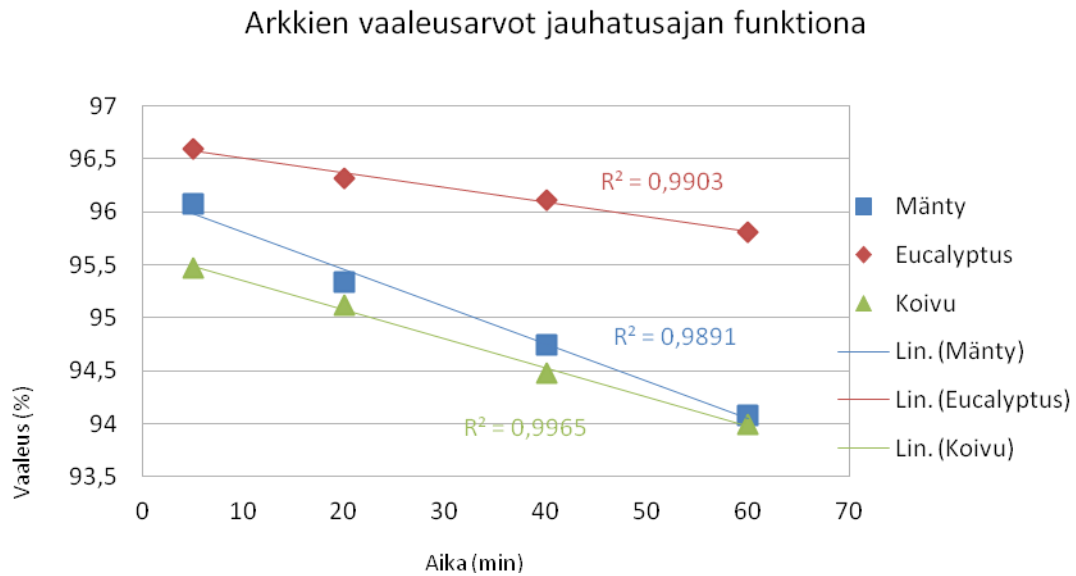
Kuten voimme päätellä kuvasta 4, näytteiden paksuus laski 140-180 μ :stä noin 120 μ :n jauhatusaikana. Tämä oli odotettavissa, pidemmän jauhatusajan lyhentäessä ja rikkoessa kuituja.



Kuva 4. Arkkien paksuus jauhatusajan funktiona

7.2 Vaaleus

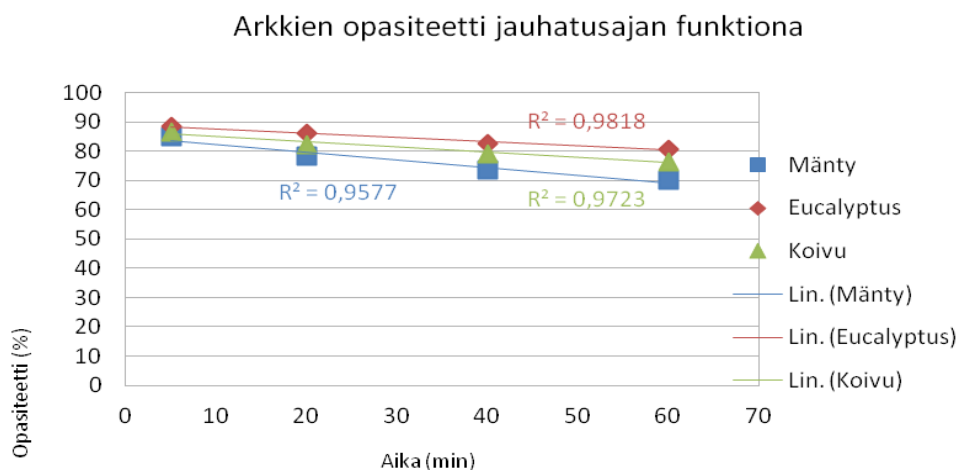
Paperin vaaleusarvot ovat usein tärkeitä ominaisuuksia paperin loppukäyttöä ajatellen ja niihin vaikuttavat jauhatusta enemmän paperimassaan lisäävät valkaisevat aineet, kuten kalsiumkarbonaatti ja muut optiset kirkasteet. Eukalyptusmassan vaaleusarvot olivat ennen jauhatusta korkeammalla tasolla kuin männyn ja koivun ja jauhatusajan pituus ei vaikuttanut eukalyptukseen yhtä voimakkaasti kuin männyn ja koivuun. Männyn ja koivun massoilla vaaleusarvot heikkenivät huomattavasti jauhatuksen pituudesta riippuen, kummatkin päätyen noin 94 % vaaleuteen, kun eukalyptus päätyi alle 96 % vaaleuteen.



Kuva 5. Arkkien vaaleusarvot jauhatusajan funktiona

7.3 Opasiteetti

Jauhatusaika yleisesti laskee arkkien opasiteettiarvoja ja niin voi myös päätellä kuvasta 6. Jyrkin lasku opasiteetissa on ollut männyllä, jonka opasiteettiarvo 60 minuutin jauhatusajalla on enää noin 70 % lähtöarvosta. Eukalyptuksella ja koivulla lasku ei ole aivan niin huomattava, mutta jauhatuksen vaikutus on silti nähtävissä. Jauhatusta suurempi vaikutus opasiteettiarvoon on paperin päällystysaineilla.

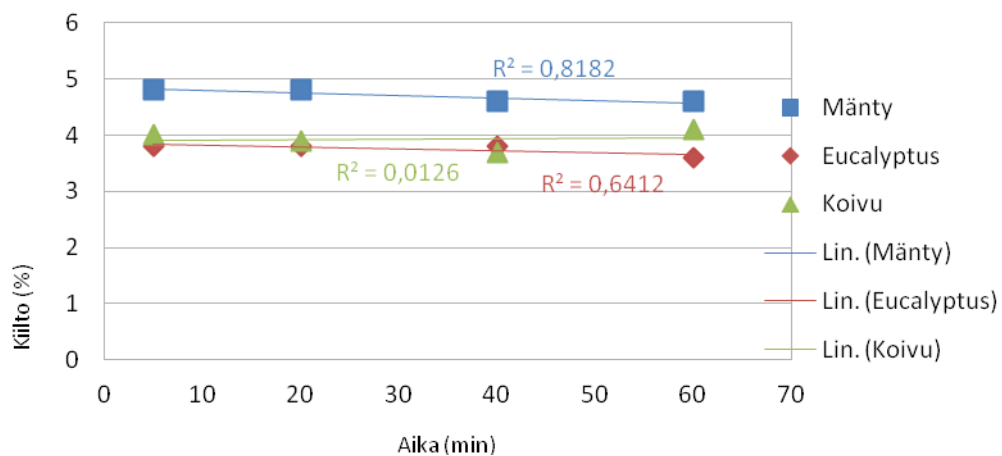


Kuva 6. Arkkien opasiteetti jauhatusajan funktiona

7.4 Kiilto

Jauhatusajalla ei ole suoranaista vaikutusta paperin kiilto-ominaisuuksiin ja kiiltoa säädelläänkin enemmän paperin päällystysaineilla kuin jauhatusteella. Koivumassassa on kuvan 7 mukaan paremmat kiilto-ominaisuudet jauhatuksen lopussa, toisin kuin männyssä ja eukalyptuksessa. Merkittäviä eroja massojen ja jauhatusaikojen välillä ei syntynyt, joten johtopäätösten vetäminen jauhatuksen vaikutuksesta kiilto-ominaisuuksiin ei ole mahdollista.

Arkkien kiilto jauhatusajan funktiona

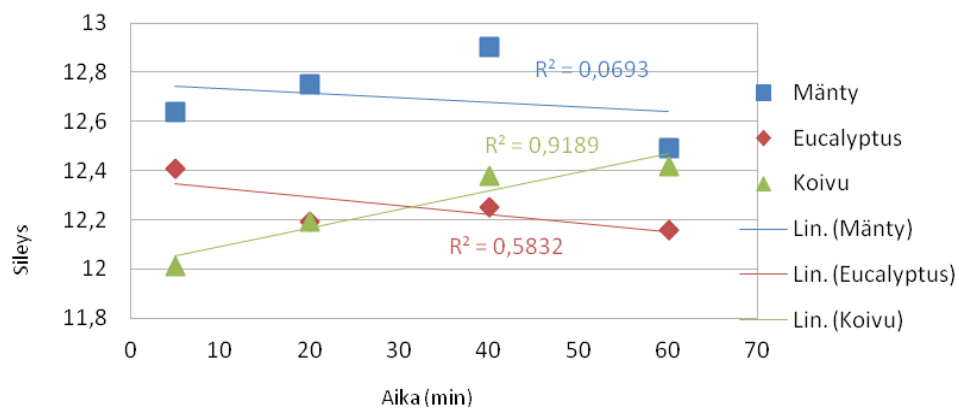


Kuva 7. Arkkien kiilto jauhatusajan funktiona

7.5 Sileys

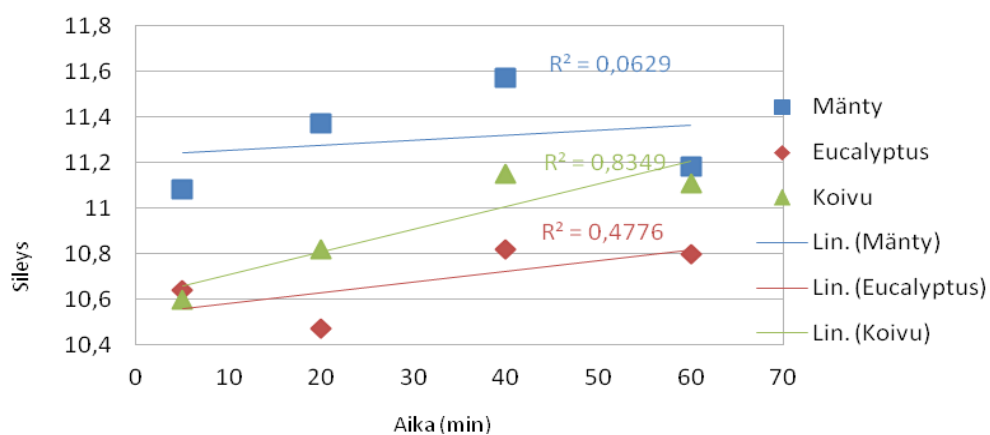
Hyvä pinnan sileys eli mikrokarheus on tärkeää, jos paperille halutaan saada esimerkiksi hyvä painotulos. Arkkien jauhatuksella ei ole korrelaatiota pinnan sileyteen, niin kuin voimme päätellä kuvista 8, 9 ja 10. Arkki on sitä sileämpi, mitä pienempi sileysarvo on. Mäntymassasta tehdyt arkit ovat karheampia kuin koivu- ja eukalyptusarkit, vaikkakin erot tasoittuvat jauhatusajan pidentyessä, eukalyptusarkkien ollessa sileimpiä jauhatusajan päättyessä kaikilla eri painetasoilla mitattuna. Lyhyellä jauhatusajalla koivun ja eukalyptuksen erot ovat pienet, koivun muuttuessa karheammaksi pidemmällä jauhatusajoilla.

Arkkien sileys PPS 0,5 jauhatusajan funktiona



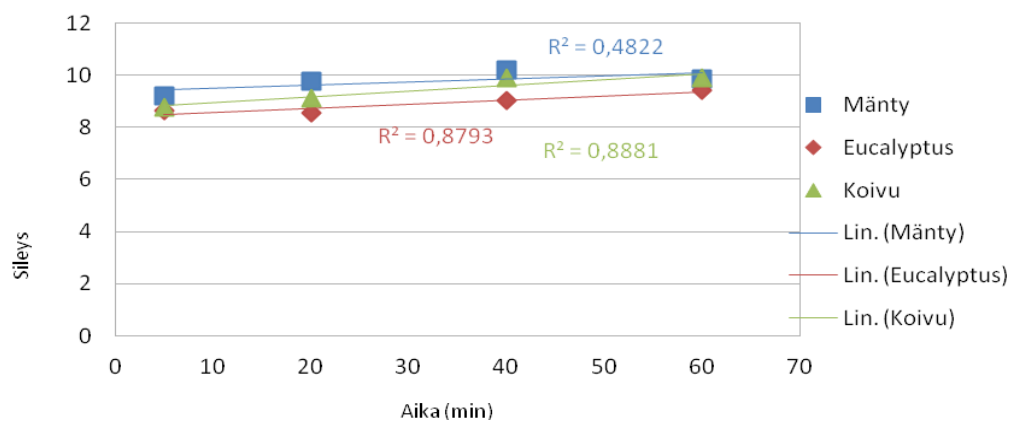
Kuva 8. Arkkien sileys PPS 0,5 Mpa jauhatusajan funktiona

Arkkien sileys (PPS1) jauhatusajan funktiona



Kuva 9. Arkkien sileys PPS 1,0 Mpa jauhatusajan funktiona

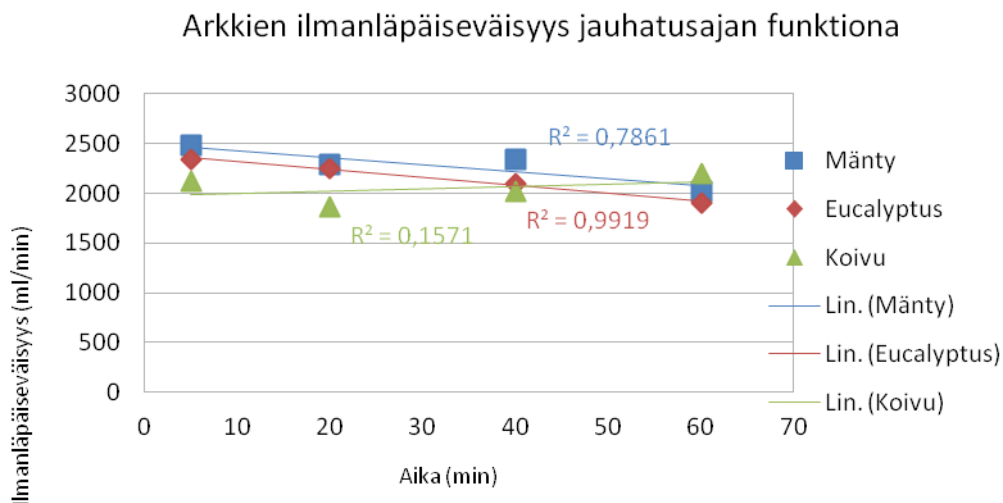
Arkkien sileys (PPS2.0) jauhatusajan funktiona



Kuva 10. Arkkien sileys PPS 2.0 Mpa jauhatusajan funktiona

7.6 Ilmanläpäiseväisyys

Arkkien ilmanläpäiseväisyys heikkenee jauhatusajan pidentyessä, joka on kuvassa 11 huomattavissa männyn ja eukalyptuksen arkeissa. Koivuarkkien ilmanläpäiseväisyys pysyy jokseenkin samana lyhyillä ja pitkillä jauhatusajoilla. Teoriassa jauhatusajalla pitäisi olla suurempi vaikutus arkkien ilmanläpäisevyyteen. Kyseessä on karkea virhe.

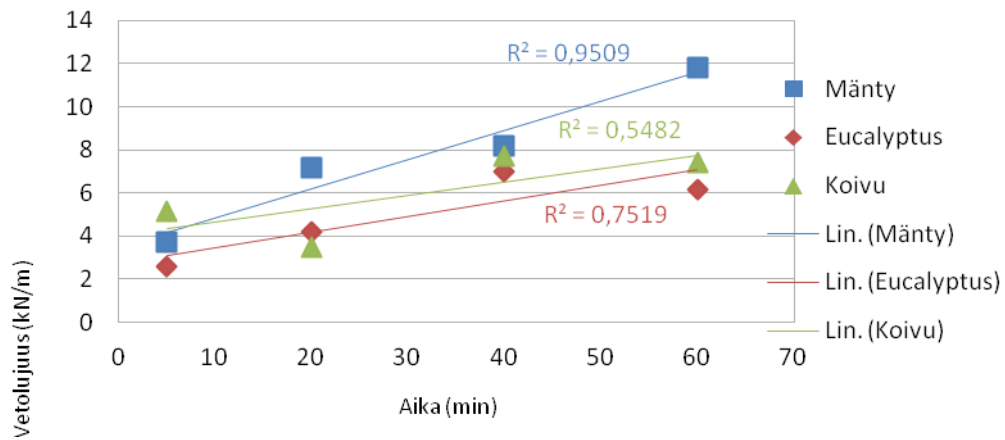


Kuva 11. Arkkien ilmanläpäiseväisyys jauhatusajan funktiona

7.7 Vetolujuus

Arkkien vetolujuus kasvaa jauhatusajan funktiona, joka on erityisesti nähtävissä mäntyarkkien tuloksista: viiden minuutin jauhatuksen jälkeen vetolujuus on 4 kN/m, kun tunnin jauhatuksen jälkeen vetolujuus on kasvanut kolminkertaisesti eli on 12 kN/m. Eukalyptusarkeissa suurin vetolujuus on 40 minuutin jauhatuksen kohdalla, samoin kuin koivuarkeissa.

Arkkien vetolujuus jauhatusajan funktiona

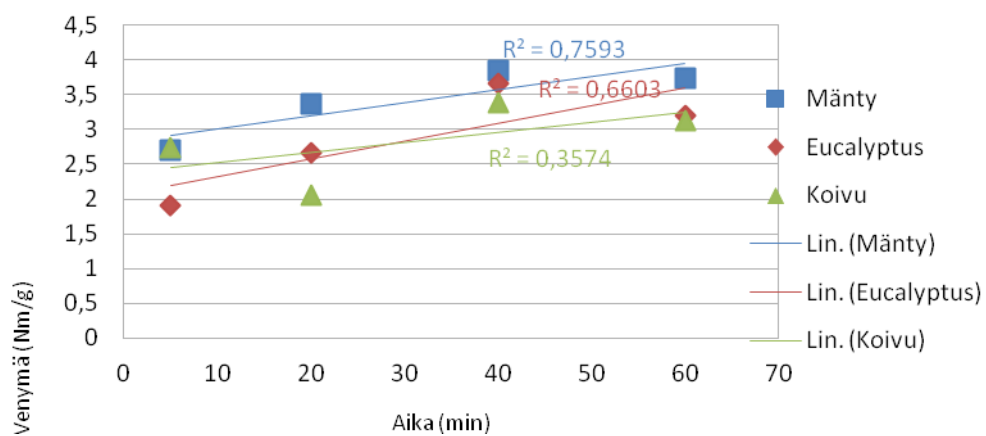


Kuva 12. Arkkien vetolujuus jauhatusajan funktiona

7.8 Venymä

Männyn ja eukalyptuksen jauhatusajat ja venymät korreloivat suhteellisen hyvin keskenään venymän kasvaessa samalla kun jauhatusaika pitenee. Koivulla korrelaatio on vähäinen, venymän ollessa pienin 20 minuutin jauhatuksen kohdalla ja suurin 40 minuutin jauhatuksen kohdalla. Tunnin jauhatuksen jälkeen koivun ja eukalyptuksen venymät ovat jokseenkin samat, vaikka männyn on vähän parempi.

Arkkien venymä jauhatusajan funktiona

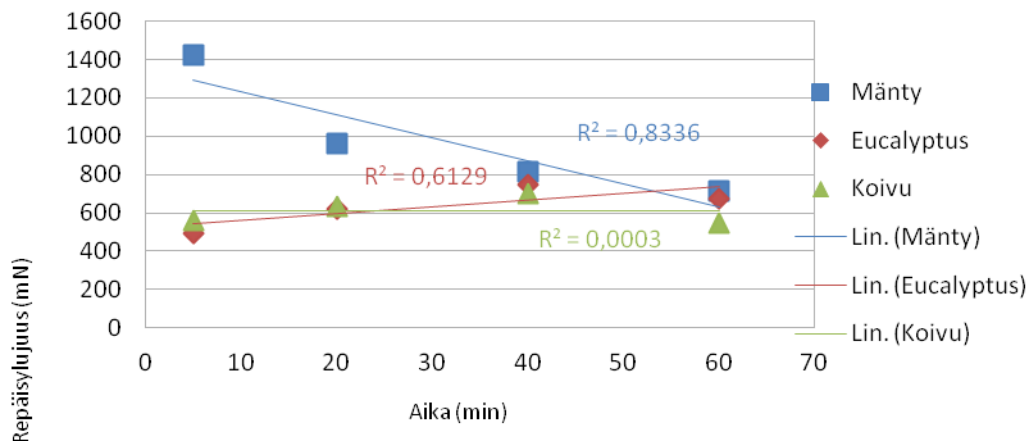


Kuva 13. Arkkien venymä jauhatusajan funktiona

7.9 Repäisylujuus

Mäntyarkkien repäisylujuus on huomattavasti suurempi viiden minuutin jauhatuksen jälkeen verrattuna eukalyptukseen ja koivuun, mutta ero pienenee huomattavasti jauhatusajan pidentyessä. Tämä johtuu männyn pitkistä kuiduista, jotka pidemmässä jauhatusajassa pilkkoutuvat ja menettävät lujuusarvonsa. Lopulta tunnin jauhatuksen jälkeen erot puulajien välillä ovat hyvin pieniä. Kaikkien kolmen puulajin repäisylujuusarvot ovat välillä 500–800 mN.

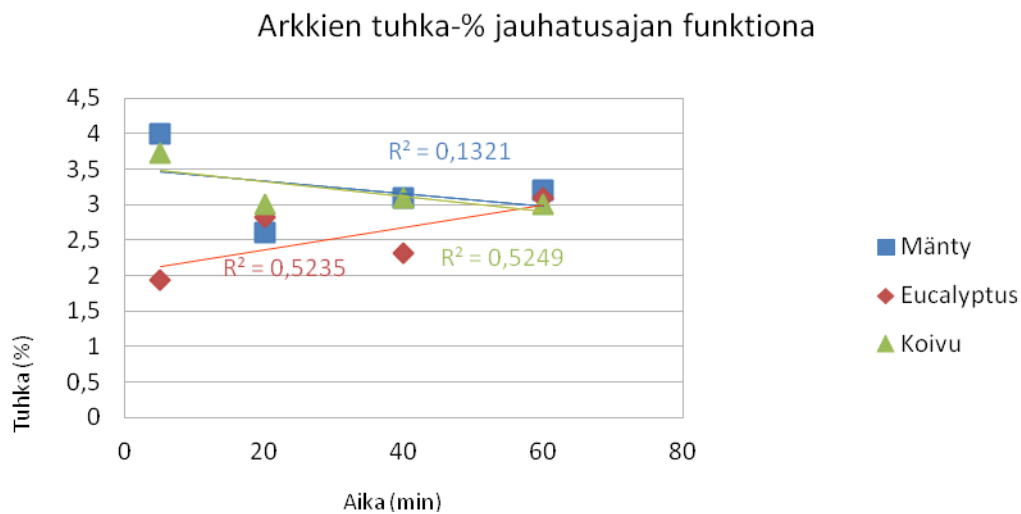
Arkkien repäisylujuus jauhatusajan funktiona



Kuva 14. Arkkien repäisylujuus jauhatusajan funktiona

7.10 Tuhka

Arkkien tuhkaprosentti ei korreloi jauhatusajan kanssa. Eri puulajien tuhkaprosentit vaihtelivat välillä 2 - 4 %. Eukalyptusmassassa oli kuvan 15 mukaan vähiten tuhkaa, mänty- ja koivumassoissa oli enemmän, vaikka erot ovatkin pieniä.



Kuva 15. Arkkien tuhka- % jauhatusajan funktiona

8 VIRHEARVIONTI

Epäsäännöllisyydet testituloksissa voivat johtua erilaisista virheistä tai viallisesta testikappaleesta. Pienestä otoskoosta johtuen mahdollisella mittausvirheellä olisi merkittävä vaikutus tuloksiin. Mittausvirheiden minimoimiseksi laboratorion laitteet huolletaan ja kalibroidaan kerran vuodessa. Työssä virheiden vaikutukset pyrittiin minimoimaan käyttämällä kuuden arkin otosta ja valmistamalla arkit mahdollisimman huolellisesti.

Karkea Virhe

Jos mitta-asteikkoa luetaan väärin, mittauslaitteeseen tulee toimintahäiriö tai tietojen tallennuksessa tapahtuu virhe, on sattunut karkea virhe. Mittalaitteet ilmoittavat, jos osa tuloksista ylittävät toleranssirajat.

Systemaattinen virhe

Systemaattinen virhe on virhe, jonka aiheuttajana on käytetty mittalaite tai mittaussuomenetelmä. Systemaattisen virheen aiheuttaja voisi olla laitteen kalibroituvirhe tai huonosta ilmanvaihdesta johtuva ilman kosteuden vaihtelu testattavissa arkeissa.

Satunnainen eli tilastollinen virhe

Satunnainen eli tilastollinen virhe syntyy inhimillisistä erehdyksistä, eikä niitä saada poistettua kokonaan, mutta niiden vaikutus saadaan minimoitua suurella otoskoolla. Tässä tutkimuksessa otoskoon suurentaminen ei ollut järkevää, joten satunnaisten virheen mahdollisuus oli mahdollinen.

9 JOHTOPÄÄTÖKSET

Tässä opinnäytetyössä eri sellumassojen erot tulivat selvästi näkyviin. Kuten tuloksista voi huomata, varsinkin havu- ja lehtipuiden välillä oli huomattavia eroja monissa testauksissa. Havupuun pidemmät kuidut antavat sille hyvät lujuus- ja kestävyysominaisuudet, mutta lehtipuiden sellu antaa paperille paremmat optiset- ja painatusominaisuudet. Paperitehtaiden valmistaessa paperimassaa, havu- ja lehtipuiden selluja sekoitetaan keskenään, jotta paperille saataisiin sopiva tasapaino eri ominaisuuksien välillä. Paperin lopulliseen laatuun vaikuttavat monet muutkin asiat kuin sellun raaka-aine, kuten kalanterointi ja eri ominaisuuksia parantavien lisäaineiden, kuten titaatin lisääminen massaan. Lisäaineet nostavat paperin hintaa, mutta myös vähentävät puuraaka-aineen kulutusta. Paperiteollisuuden kannalta on siis tärkeää löytää paras mahdollinen raaka-aine, joka soveltuu ominaisuuksiltaan lopputuotteen tekemiseen.

9.1 Massojen soveltuvuus lopputuotteiksi

Pitkäkuituisena massana mänty sopisi hyvin paperien ja kartonkien raaka-aineeksi, jossa tarvitaan lujuutta, esimerkiksi aaltopahveihin. Eukalyptus ja koivu soveltuvat kummatkin hyvin hienopapereiden valmistukseen niiden optisten ominaisuuksien takia.

Koivun pintaominaisuudet sopivat hyvin painamiseen ja päällystämiseen ilman, että sen ajettavuus paperikoneella kärsii. Tuloksista voi myös huomata, että eukalyptuksella on samoja ominaisuuksia kuin koivulla, jonka takia niitä kumpaakin käytetään papereissa, joissa vaaleus- ja pintaominaisuudet ovat tärkeitä.

9.2 Ekologinen näkökulma

Nykyään pitää ottaa enemmän määrin huomioon paperin raaka-aineiden ekologinen näkökulma. Toisin kuin Suomessa kasvatetut koivu ja mänty, eukalyptus kasvaa trooppisella vyöhykkeellä. Eukalyptuksen suosion nousun myötä sen viljely on yleistynyt räjähdysmäisellä vauhdilla. Ongelmallista eukalyptuksen viljelyssä on viljelmien tieltä hakattava sademetsän väheneminen, sekä viljelmien yksipuolisuus biodiversiteetin näkökulmasta. Vaikkakin eukalyptusviljelmät tuottavat satoa läpi vuoden ja raaka-aine on laadukasta, kaikki eivät sen käytön lisäämistä hyväksy. Suomalaiset metsäyhtiöt ovat investoineet ja tulevat myös jatkossa investoimaan eukalyptukseen, jos julkinen mielipide ei käänny sen käyttöä vastaan.

Suomalaiset metsät ovat suurilta osin sertifioituja (FSC, PEFC) ja Suomen metsätalous on ekologisesti kestäväällä pohjalla, mutta tehometsätaloudella ja talousmetsien yksipuolisuudella on täälläkin haasteensa.

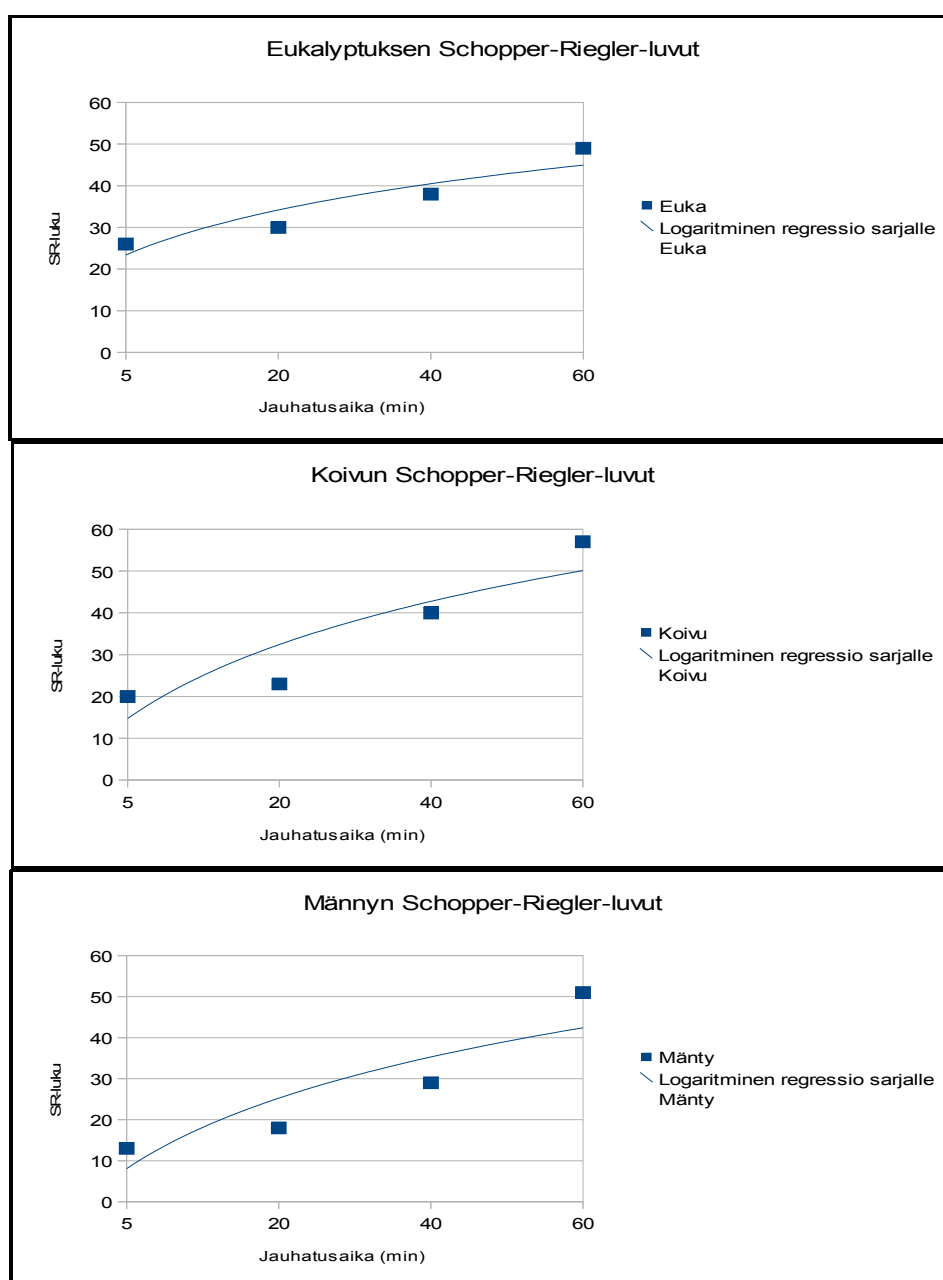
9.3 Tulevaisuuden näkymät

Suomessa selluraaka-aineen tarve on vähenemään päin. Metsäteollisuuden kamppaillessa rakennemuutoksen kourissa paperitehtaita suljetaan ja tuotantoa siirretään muualle. Paperin kysyntä on ollut laskussa jo vuosia, mutta uusia markkinoitakin avautuu, esimerkiksi Kiinan ja Intian kasvaville markkinoille. Tulevaisuuden haasteena Suomen metsäteollisuudelle onkin vastata näiden markkinoiden haasteisiin siirtymällä entistä enemmän erikoistuotteisiin ja investoimalla lähemmäs nopeasti kasvavia markkinoita, Kaukoitään ja Etelä-Amerikkaan. Suomalaisesta puusta tuotetun sellun kysyntä tulee tulevaisuudessa laskemaan, koska Suomella ei ole mahdollisuutta kilpailla hinnassa halvempien raaka-aineiden kanssa. Suomen metsäteollisuuden tulee rohjeta uudistua rankalla kädellä tai varautua jyrkkään laskuun.

LÄHTEET

1. Puuproffa, Mänty, 2008, 25.4.2012.
http://www.puuproffa.fi/proffin/index.php?option=com_content&task=view&id=74&Itemid=52
2. Luontoportti, Pinus Sylvestris, 2012, 25.4.2012
<http://www.luontoportti.com/suomi/fi/puut/manty>
3. Cartina, Pystymetsä, 2012, 25.4.2012
<http://www.cartinafinland.fi/fi/picture/20075/Pystymets%E4.html>
4. ANSPA. Eucalyptus, Corymbia and Angophora, 2009, 25.4.2012
<http://anpsa.org.au/eucall1a.html>
5. Seppälä, M. (toim.) 2005 Paperimassan valmistus. Kemiallinen metsäteollisuus I. Opetushallitus. Saarijärvi.
6. Häggblom-Ahnger, U. & Komulainen, P. 2005. Paperin ja kartongin valmistus. Kemiallinen metsäteollisuus II. Opetushallitus. Helsinki.
7. Mononen, K. 2002 Eri sellulaatujen lujuusvertailu. Luentomoniste, Kymenlaakson ammattikorkeakoulu, Paperitekniikka.
8. Mononen, K. 2004 Työkirja märkä- ja kuivalaboratoriomäärittämisä varten. Luentomoniste, Kymenlaakson ammattikorkeakoulu, Paperi- ja kartonkituotteet.
9. Aaltonen, P. 1986 Kuituraaka-aineen ja Paperin Testausmenetelmiä. Otatieto. Espoo.
10. Hyvämäki, T. (toim.). 2002. Tapion taskukirja. Kustannusosakeyhtiö Metsälehti. Helsinki.

Jauhatusaika (min)	Eukalyptus	Koivu	Mänty
5	26	20	13
20	30	23	18
40	38	40	29
60	49	57	51



Näyte: Eukalyptus 5 min

Liite 2/1

	Näyte	1	2	3	4	5	6	x	s
Neliömassa	g/m ²	85,8	97,01	104,48	97,01	97,01	100,75	97,01	
Paksuus	um	163,4	163,4	160	162,4	162,6	163,2	162,5	
Vaaleus	%	96,68	96,53	96,70	96,64	96,51	96,60	96,60	0,08
Opasiteetti	%	88,19	88,56	88,40	88,35	88,32	88,32	88,32	0,15
Kiilto	%	4	3,6	3,7	3,7	3,9	3,7	3,8	
Sileys, PPS	0,5 Mpa	12,31	13,42	13,43	12,09	11,62	12,61	12,41	0,60
	1,0 Mpa	10,91	10,18	11,38	10,59	9,62	11,15	10,64	0,65
	2,0 Mpa	8,72	8,54	9,24	8,40	7,80	9,01	8,62	0,50
Sileys, Bentsen	ml/min	2683	1967	2642	1851	2365	2651	2343	392
Ilmanläpäiseväisyys	ml/min	1883	1567	1588	1770	1553	1361	1620	183
Vetolujuus md	kN/m	2,043	2,849	3,134	2,034	2,434	3,053	2,593	0,489
Venymä md	Nm/g	1,40	2,44	2,70	1,44	1,31	2,16	1,91	0,60
Repäisylujuus md	mN	466	388	255	502	641	697	491,5	
Tuhka	%	2,5	1,6	1,8	2,1	2	1,6	1,93	

Näyte: Eukalyptus 20 min

	Näyte	1	2	3	4	5	6	x	s
Neliömassa	g/m ²	97,01	104,48	100,75	93,28	97,01	89,55	97,01	
Paksuus	um	144,00	144,80	145,60	146,20	145,60	144,80	145,2	
Vaaleus	%	96,29	96,37	96,32	96,32	96,44	96,24	96,32	0,07
Opasiteetti	%	86,08	86,13	86,47	85,59	86,05	86,12	86,12	0,33
Kiilto	%	3,80	4,30	3,80	3,60	3,90	3,60	3,80	0,26
Sileys, PPS	0,5 Mpa	12,82	12,26	11,58	12,44	12,32	11,7	12,19	0,47
	1,0 Mpa	10,6	10,73	9,82	10,78	10,76	10,14	10,47	0,4
	2,0 Mpa	8,82	8,68	8,00	8,61	8,65	8,38	8,53	0,29
Sileys, Bentsen	ml/min	2917	2771	1575	2076	2349	1822	2252	628
Ilmanläpäiseväisyys	ml/min	889	678	847	871	757	919	827	91,3
Vetolujuus md	kN/m	3,15	3,207	5,641	4,632	4,664	3,883	4,196	0,966
Venymä md	Nm/g	1,57	2,28	3,79	3,14	2,79	2,44	2,67	0,76
Repäisylujuus md	mN	647	635	537	749	619	541	621,33	
Tuhka	%	3,1	2,5	2,8	3	2,3	3,2	2,82	

Näyte: Eukalyptus 40 min

Liite 2/2

	Näyte	1	2	3	4	5	6	x	s
Neliömassa	g/m ²	111,94	97,01	89,55	97,01	93,28	97,01	97,6	
Paksuus	um	134,40	132,60	130,40	133,60	135,80	134,00	133,50	
Vaaleus	%	96,14	96,23	96,18	95,98	96,1	96,11	96,11	0,11
Opasiteetti	%	82,77	82,08	82,85	83,06	82,64	82,55	82,55	0,41
Kiilto	%	3,60	3,70	4,20	3,50	3,80	3,70	3,80	0,24
Sileys, PPS	0,5 Mpa	12,38	12,44	11,65	12,46	12,12	12,46	12,25	0,32
	1,0 Mpa	10,78	11,26	10,28	10,88	11,01	10,71	10,82	0,33
	2,0 Mpa	9,27	9,23	9,27	9,10	8,89	9,28	9,01	0,39
Sileys, Bentsen	ml/min	2729	2140	1610	1959	2020	2107	2094	364
Ilmanläpäiseväisyys	ml/min	224,4	262,7	245,7	224,4	228,4	200,8	237,7	30,8
Vetolujuus md	kN/m	6,952	7,749	8,156	4,949	7,35	6,821	6,996	1,119
Venymä md	Nm/g	4,130	3,160	4,270	2,160	4,240	3,560	3,660	0,800
Repäisylujuus md	mN	1177	679	663	655	677	623	745,7	
Tuhka	%	2,9	2,5	2	1,9	2,1	2,5	2,32	

Näyte: Eukalyptus 60 min

	Näyte	1	2	3	4	5	6	x	s
Neliömassa	g/m ²	100,75	97,01	100,75	89,55	93,28	89,55	95,15	
Paksuus	um	125,6	125,6	124,2	123,8	123,2	124,4	124,5	
Vaaleus	%	95,98	95,85	95,83	95,65	95,81	95,81	95,81	0,11
Opasiteetti	%	80,78	80,58	81,32	80,91	80,19	80,79	80,79	0,38
Kiilto	%	4	3,6	3,7	3,6	3,6	2,9	3,6	
Sileys, PPS	0,5 Mpa	11,94	11,84	12,52	12,32	12,44	11,94	12,16	0,29
	1,0 Mpa	10,63	10,6	11,14	10,95	11,36	10,6	10,8	0,32
	2,0 Mpa	9,36	9,07	9,73	9,6	9,45	9,23	9,41	0,24
Sileys, Bentsen	ml/min	1781	1809	2018	1997	1836	1980	1903	106,2
Ilmanläpäiseväisyys	ml/min	75,3	82	70,9	93,6	88,9	92,6	83,9	
Vetolujuus md	kN/m	7,416	4,086	5,193	7,342	7,139	5,885	6,177	1,359
Venymä md	Nm/g	4,34	1,67	2,6	3,7	4,03	2,83	3,2	1,01
Repäisylujuus md	mN	633	613	761	697	711	637	675	
Tuhka	%	3,2	3	3,3	2,8	2,9	3,1	3,1	

Näyte: Koivu 5 min

Liite 2/3

	Näyte	1	2	3	4	5	6	x	s
Neliömassa	g/m ²	97,01	93,28	93,28	100,75	97,01	97,01		
Paksuus	um	143,4	142,8	140,8	141,6	147	144,2	141,8	
Vaaleus	%	95,39	95,41	95,58	95,62	95,38	95,47	95,47	0,1
Opasiteetti	%	86,45	86,54	86,39	86,78	86,54	86,54	86,54	0,13
Kiilto	%	4,1	3,8	3,9	4,1	4,2	3,9	4	0,15
Sileys, PPS	0,5 Mpa	12,42	11,87	11,7	12,45	11,82	11,82	12,01	0,33
	1,0 Mpa	10,61	10,6	10,5	10,79	10,71	10,41	10,6	0,14
	2,0 Mpa	9,01	8,43	8,35	9,29	8,84	8,69	8,77	0,35
Sileys, Bentsen	ml/min	2381	2072	2308	1955	2250	1766	2123	235,3
Ilmanläpäiseväisyys	ml/min	1193	876	1181	979	890	845	994	156
Vetolujuus md	kN/m	5,454	4,306	5,918	4,941	5,722	4,599	5,157	0,643
Venymä md	Nm/g	3,12	1,98	2,95	2,28	3,17	2,91	2,73	0,49
Repäisylujuus md	mN	569	523	521	551	496	593	558,8	
Tuhka	%	4	2,2	3,9	3,8	4,5	4	3,73	

Näyte: Koivu 20 min

	Näyte	1	2	3	4	5	6	x	s
Neliömassa	g/m ²	93,28	97,01	97,01	100,75	93,28	93,28	95,77	
Paksuus	um	128,8	127,8	127	128,2	126,2	127,4	127,6	
Vaaleus	%	95,19	95,21	95,06	94,97	95,11	95,12	95,12	0,09
Opasiteetti	%	82,52	82,25	81,98	82,19	82,27	82,3	82,3	0,26
Kiilto	%	3,9	3,7	3,8	4	4	3,7	3,9	0,14
Sileys, PPS	0,5 Mpa	12,45	12,22	11,73	12,3	12,22	12,24	12,19	0,24
	1,0 Mpa	10,75	11,1	10,52	10,74	10,99	10,85	10,82	0,21
	2,0 Mpa	8,7	9,42	8,81	8,99	9,58	9,29	9,13	0,35
Sileys, Bentsen	ml/min	1779	1721	1736	1718	2270	1925	1858	216
Ilmanläpäiseväisyys	ml/min	391	375	408	321	318	294	351	46,3
Vetolujuus md	kN/m	3,329	3,044	3,166	3,525	3,972	3,015	3,492	0,386
Venymä md	Nm/g	1,95	2	1,64	1,81	2,52	2,44	2,06	0,35
Repäisylujuus md	mN	605	553	635	625	625	695	635	
Tuhka	%	3,6	2,4	3	2,9	2,7	3,5	3	

Näyte: Koivu 40 min

Liite 2/4

	Näyte	1	2	3	4	5	6	x	s
Neliömassa	g/m2	97,01	100,75	97,01	100,75	93,28	93,28	97,01	
Paksuus	um	121,8	121	121,2	119,2	119,6	119,4	120,4	
Vaaleus	%	94,6	94,57	94,41	94,25	94,46	94,63	94,48	0,14
Opasiteetti	%	79,35	79,31	79,47	79,24	79,36	78,8	79,27	0,24
Kiilto	%	3,6	3	4	3,7	3,8	4,1	3,7	0,39
Sileys, PPS	0,5 Mpa	12,27	12,42	11,84	12,53	12,18	13,03	12,38	0,4
	1,0 Mpa	11,03	11,63	10,51	11,38	11,04	11,28	11,15	0,38
	2,0 Mpa	9,41	10,38	9,37	9,94	10,29	9,97	9,89	0,42
Sileys, Bentsen	ml/min	1964	2083	1766	2213	2145	1956	2021	160,4
Ilmanläpäiseväisyys	ml/min	59,1	102,2	63,9	66,9	67,3	96,5	76	18,5
Vetolujuus md	kN/m	7,448	8,181	6,341	8,864	7,017	8,506	7,726	0,96
Venymä md	Nm/g	3,28	3,02	3,36	4,13	2,77	3,69	3,38	0,48
Repäisylujuus md	mN	655	645	1032	587	705	573	699,5	
Tuhka	%	3,8	2,3	3,5	2,1	2,8	3,6	3,1	

Näyte: Koivu 60 min

	Näyte	1	2	3	4	5	6	x	s
Neliömassa	g/m2	85,82	97,01	97,01	85,82	97,01	100,75	93,9	
Paksuus	um	110,4	111	112,4	111,2	110,8	111,6	111,2	
Vaaleus	%	93,9	94,11	94,03	94,04	93,88	93,87	93,99	0,12
Opasiteetti	%	76,33	76,24	76,51	76,39	76,85	76,48	76,48	0,21
Kiilto	%	4,2	3,5	4,3	3,8	4,4	4,1	4,1	0,34
Sileys, PPS	0,5 Mpa	12,33	12,77	12,36	11,7	12,24	13,11	12,42	0,48
	1,0 Mpa	11,01	11,54	11,01	10,62	10,93	11,56	11,11	0,37
	2,0 Mpa	9,72	10,23	9,79	9,47	9,54	10,64	9,9	0,45
Sileys, Bentsen	ml/min	2010	2802	2207	1839	2441	2272	2195	237,7
Ilmanläpäiseväisyys	ml/min	15,4	11,4	14,2	14,4	18,1	13,3	14,5	2,2
Vetolujuus md	kN/m	7,969	6,357	8,409	7,749	6,577	7,456	7,42	0,804
Venymä md	Nm/g	4,04	2,51	3,72	2,97	2,4	3,17	3,13	0,65
Repäisylujuus md	mN	605	482	595	593	425	595	549,17	
Tuhka	%	2,8	2,9	3,4	3,1	3	2,8	3	

Näyte: Mänty 5 min

Liite 2/5

	Näyte	1	2	3	4	5	6	x	s
Neliömassa	g/m2	118	84	98	91	92	92	95,83	
Paksuus	um	189	202	191	160	163	162	178	
Vaaleus	%	96,05	96,12	96,03	95,91	96,19	96,08	96,08	0,1
Opasiteetti	%	84,77	85,22	84,6	84,93	84,94	84,9	84,9	0,26
Kiilto	%	5	4,5	4,8	4,6	4,8	4,9	4,8	0,19
Sileys, PPS	0,5 Mpa	13,01	12,33	12,94	12,61	12,64	12,31	12,64	0,29
	1,0 Mpa	11,37	10,58	11,23	10,75	11,26	11,33	11,08	0,33
	2,0 Mpa	9,44	8,84	9,72	8,72	9,41	9,21	9,22	0,38
Sileys, Bentsen	ml/min	2526	2174	2709	2427	2511	2525	2479	175,6
Ilmanläpäiseväisyys	ml/min	2111	3168	2821	3179	3010	3378	2936	439
Vetolujuus md	kN/m	3,199	4,208	3,582	3,109	4,737	3,598	3,739	0,624
Venymä md	Nm/g	2,78	2,72	2,78	2,36	3,18	2,42	2,71	0,3
Repäisylujuus md	mN	1384	1445	1552	1240	1468	1455	1424	
Tuhka	%	3,8	4,1	4	3,5	4,3	4	4	

Näyte: Mänty 20 min

	Näyte	1	2	3	4	5	6	x	s
Neliömassa	g/m2	99	98	90	87	90	107	95,2	
Paksuus	um	147	149	151	130	128	129	139	
Vaaleus	%	95,12	95,11	95,37	95,5	95,56	95,34	95,34	0,19
Opasiteetti	%	77,78	79,02	78,24	78,28	78,22	78,23	78,23	0,45
Kiilto	%	5	4,8	4,8	4,8	4,6	4,6	4,8	0,15
Sileys, PPS	0,5 Mpa	13,11	12,87	12,67	12,54	12,45	12,9	12,75	0,25
	1,0 Mpa	11,56	11,31	11,61	11,14	11,16	11,41	11,37	0,2
	2,0 Mpa	9,88	10	9,82	9,44	9,54	10	9,78	0,24
Sileys, Bentsen	ml/min	2101	2220	1945	2558	2306	2353	2287	211,9
Ilmanläpäiseväisyys	ml/min	435	482	588	513	575	414	496	62,3
Vetolujuus md	kN/m	6,96	6,61	6,626	8,262	7	7,391	7,142	0,619
Venymä md	Nm/g	3,49	3,32	3,02	3,26	3,63	3,46	3,36	0,21
Repäisylujuus md	mN	847	1198	939	794	1053	945	962,6666666667	
Tuhka	%	2,2	2,5	2,9	3	2,6	2,3	2,6	

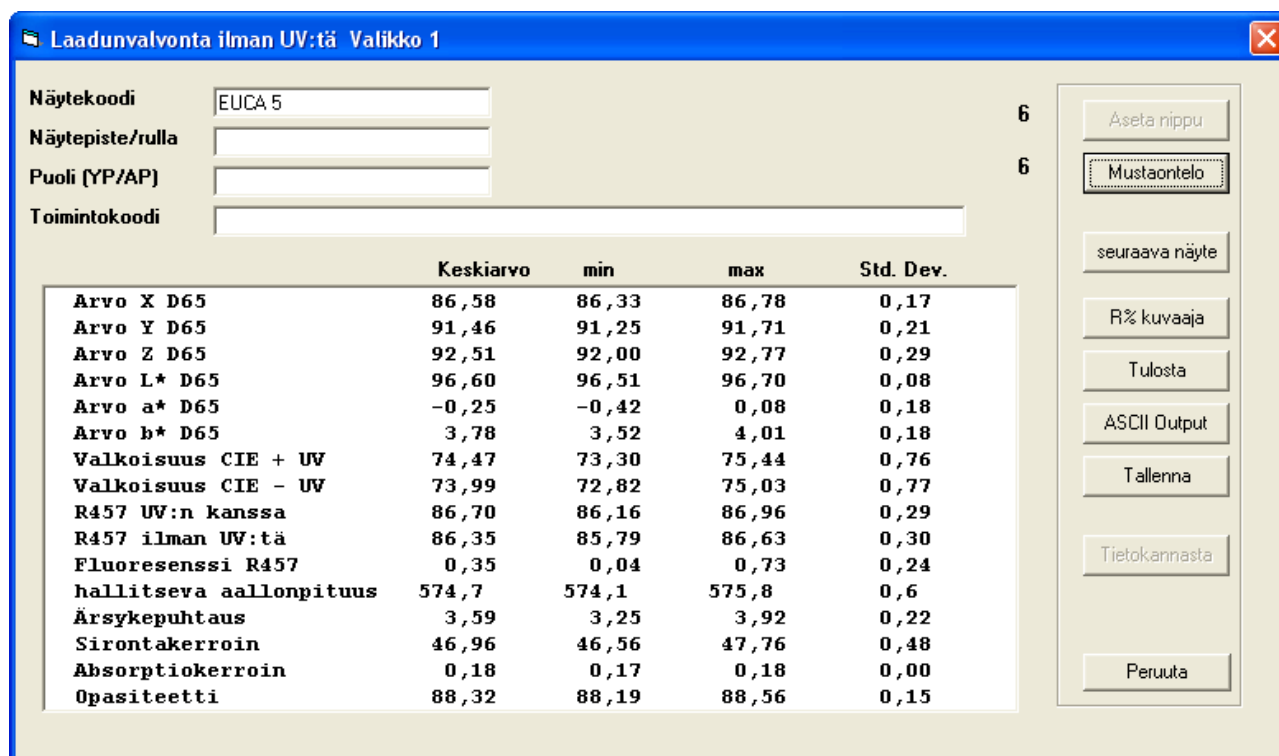
Näyte: Mänty 40 min

Liite 2/6

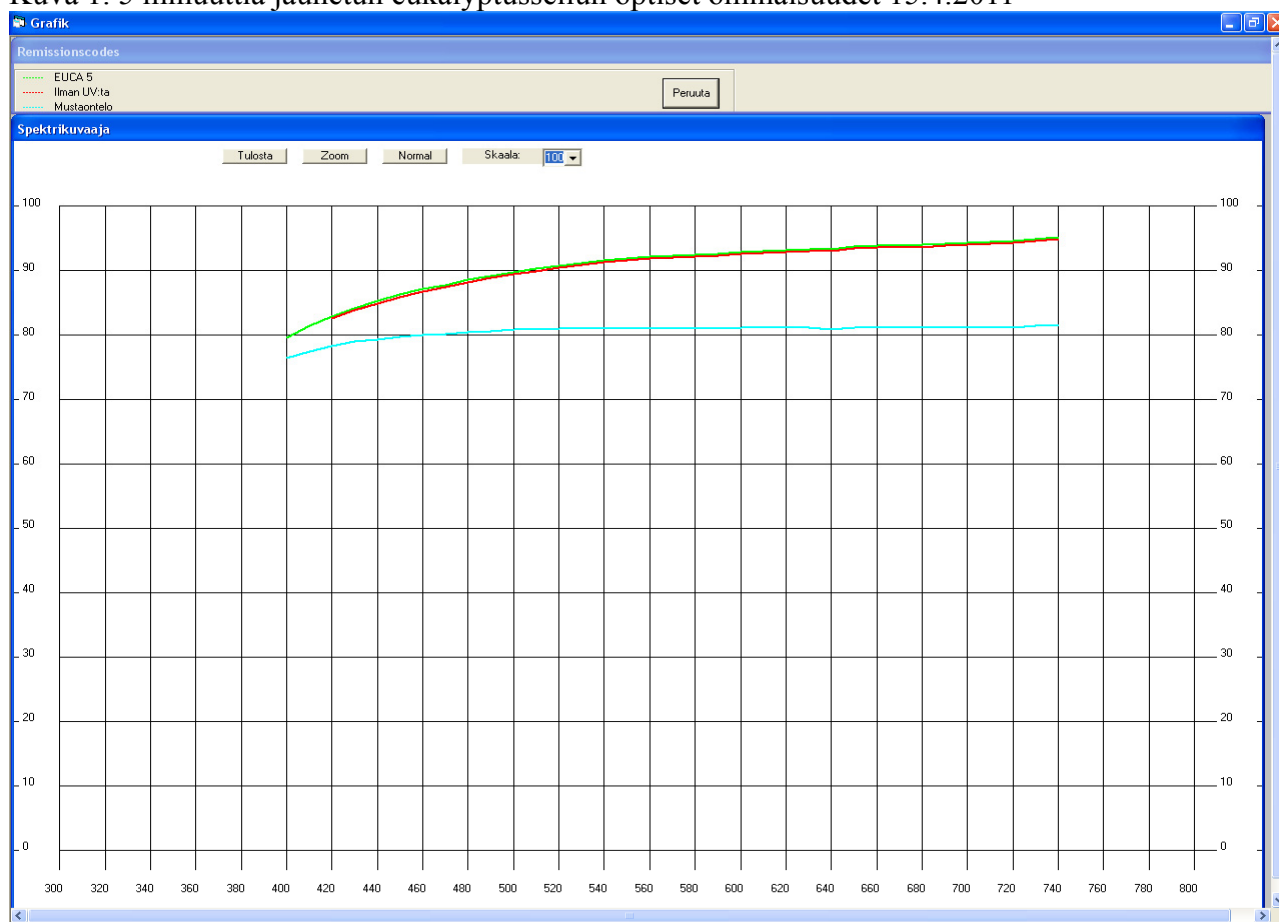
	Näyte	1	2	3	4	5	6	x	s
Neliömassa	g/m ²	90	84	98	93	97	89	92	
Paksuus	um	134	130	133	138	135	124	132	
Vaaleus	%	94,66	94,73	94,8	94,75	94,75	94,75	94,75	0,05
Opasiteetti	%	73,5	73,21	73,7	73,45	73,48	73,51	73,51	0,19
Kiilto	%	4,8	4,5	4,9	4,6	4,4	4,2	4,6	0,26
Sileys, PPS	0,5 Mpa	12,54	12,73	13,27	12,94	12,94	13	12,9	0,25
	1,0 Mpa	11,39	11,22	12,25	11,72	11,73	11,14	11,57	0,41
	2,0 Mpa	9,86	9,67	10,96	10,25	10,41	9,98	10,19	0,46
Sileys, Bentsen	ml/min	2313	2173	2623	2029	2355	2553	2341	224,1
Ilmanläpäiseväisyys	ml/min	64,2	79,2	41,5	67,8	40,4	63,3	62,8	12,3
Vetolujuus md	kN/m	8,287	9,296	8,832	9,874	5,638	7,212	8,189	1,548
Venymä md	Nm/g	3,37	5	3,53	4,07	2,74	4,34	3,84	0,8
Repäisylujuus md	mN	739	794	757	941	925	725	813,5	
Tuhka	%	3,1	3,3	3	2,9	3,5	3	3,1	

Näyte: Mänty 60 min

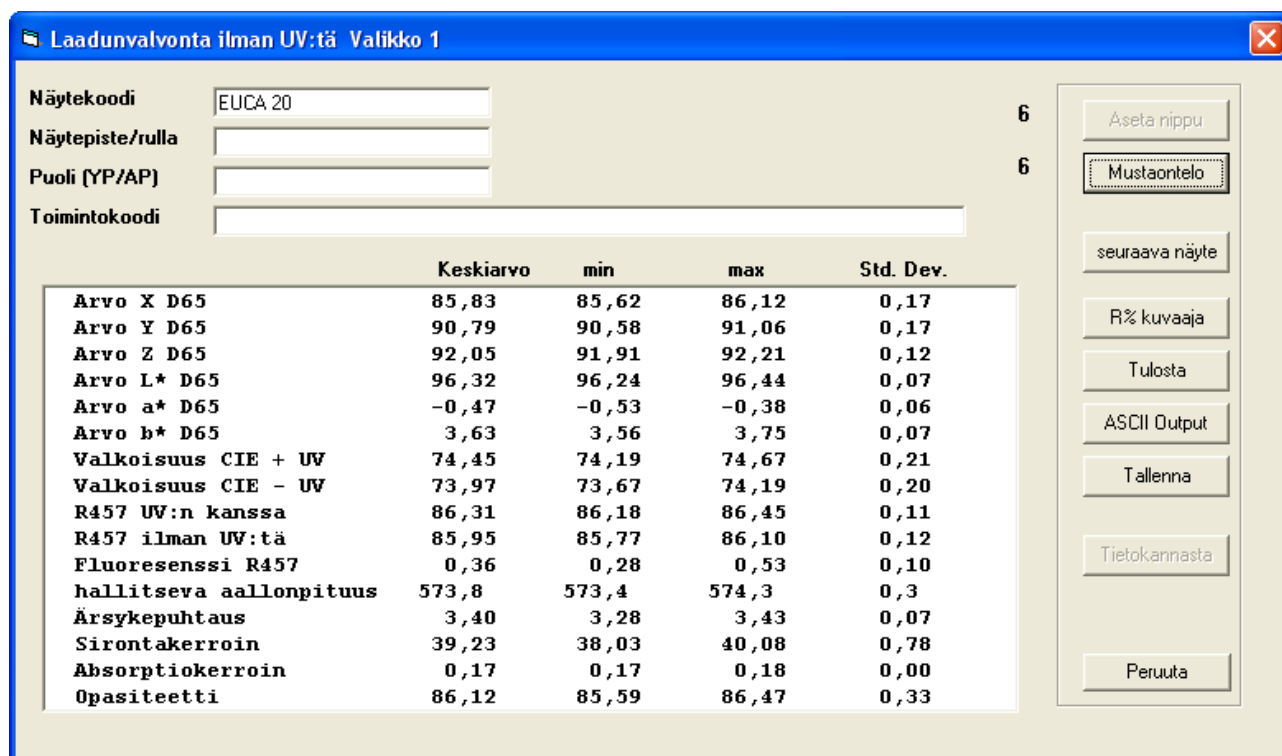
	Näyte	1	2	3	4	5	6	x	s
Neliömassa	g/m ²	90	100	78	94	84	87	89	
Paksuus	um	125	118	116	127	114	136	123	
Vaaleus	%	93,95	94,12	94,16	94,08	94,09	94,08	94,08	0,09
Opasiteetti	%	69,59	70,36	71,11	70,16	70,15	69,29	70,01	0,67
Kiilto	%	4,9	4,7	4,3	4,7	4,5	4,6	4,6	0,2
Sileys, PPS	0,5 Mpa	12,48	12,63	12,48	12,7	12,3	12,33	12,49	0,16
	1,0 Mpa	11,05	11,39	11,47	11,3	10,9	10,97	11,18	0,24
	2,0 Mpa	9,76	9,92	10,04	9,94	9,73	9,68	9,84	0,14
Sileys, Bentsen	ml/min	2166	2014	2007	2039	2075	1436	2023	108,2
Ilmanläpäiseväisyys	ml/min	12,9	9,6	10,6	9,7	14,7	9,7	11,2	2,1
Vetolujuus md	kN/m	11,6	13,24	10,44	12,69	10,61	12,45	11,84	1,149
Venymä md	Nm/g	3,74	3,6	3,49	4,23	3,08	4,27	3,73	0,46
Repäisylujuus md	mN	655	653	619	763	863	721	712,3333333333	
Tuhka	%	3,5	3	2,8	3,3	3,4	3,1	3,2	



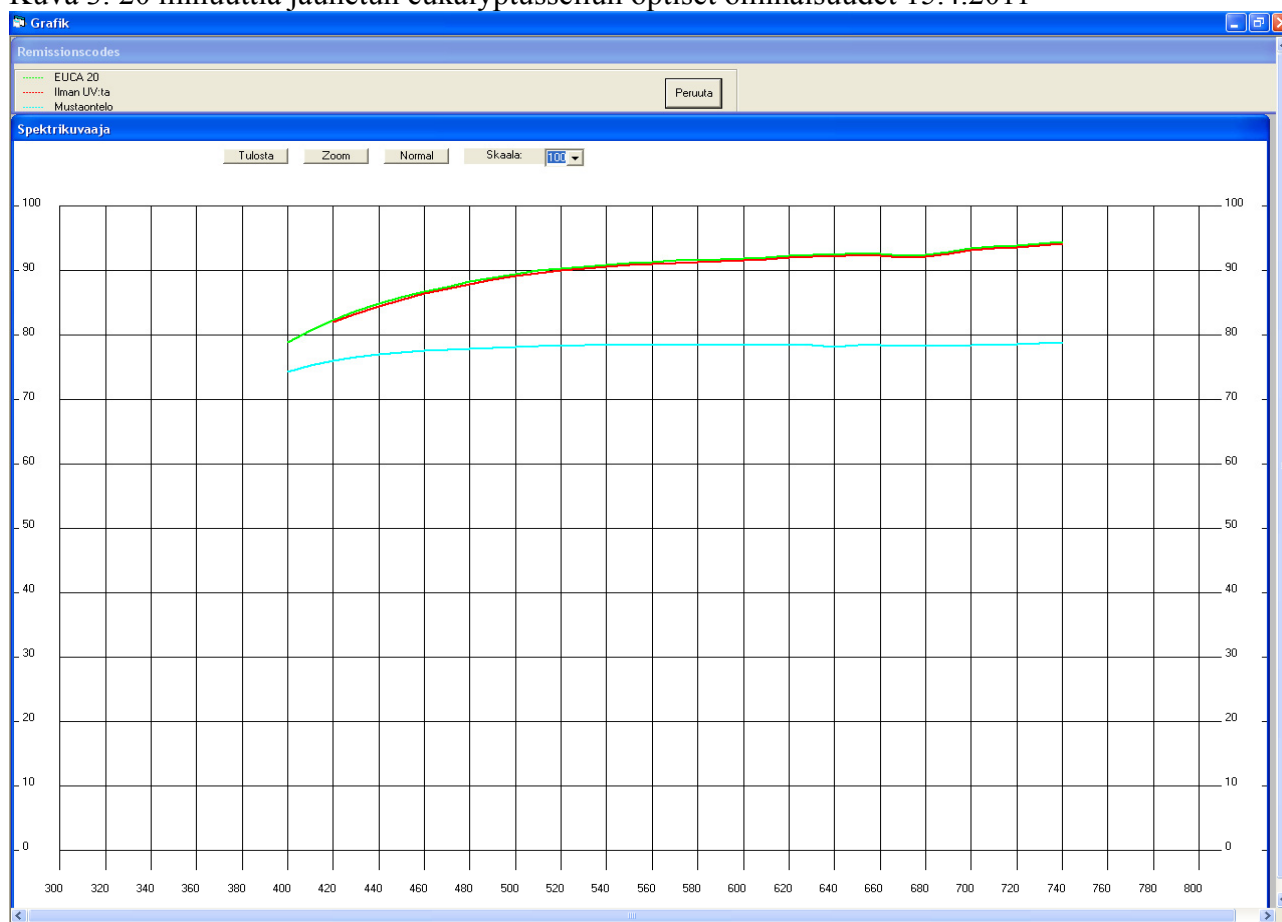
Kuva 1. 5 minuuttia jauhetun eukalyptussellun optiset ominaisuudet 15.4.2011



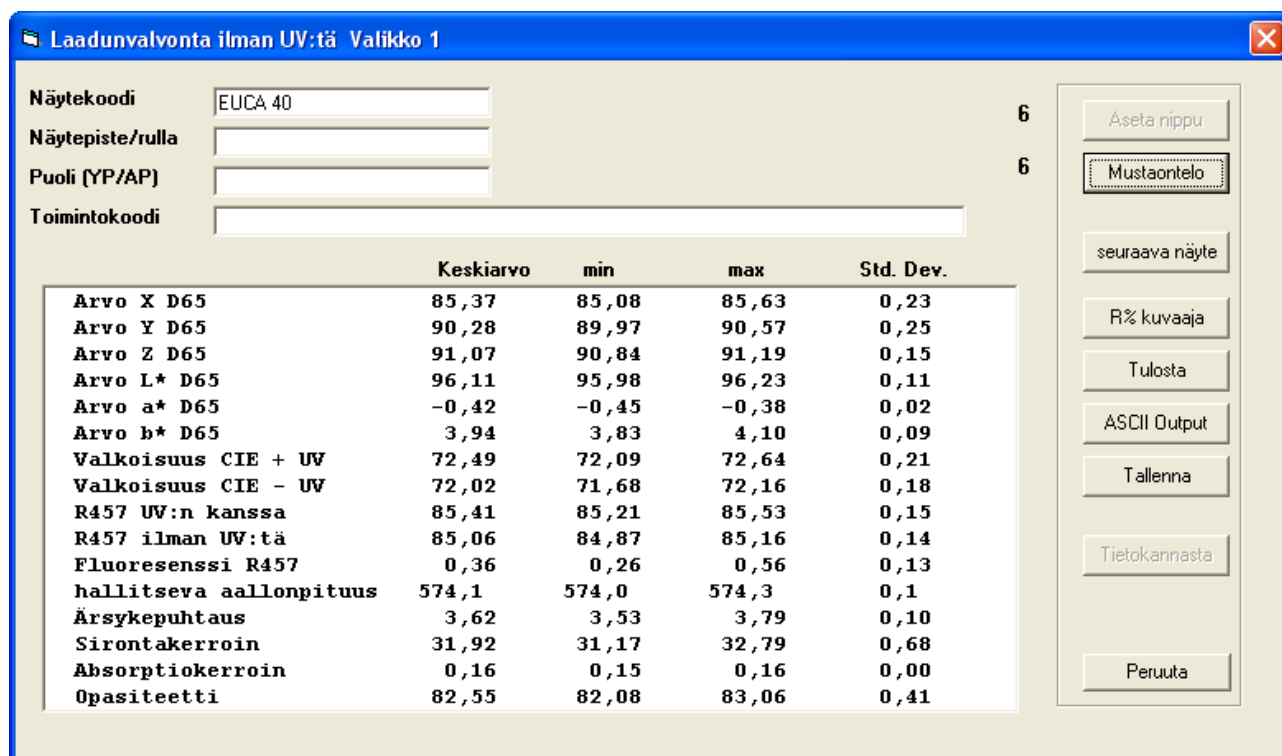
Kuva 2. 5 minuuttia jauhetun eukalyptussellun värin intensiteettijakauma välillä 400-740 nm 15.4.2011



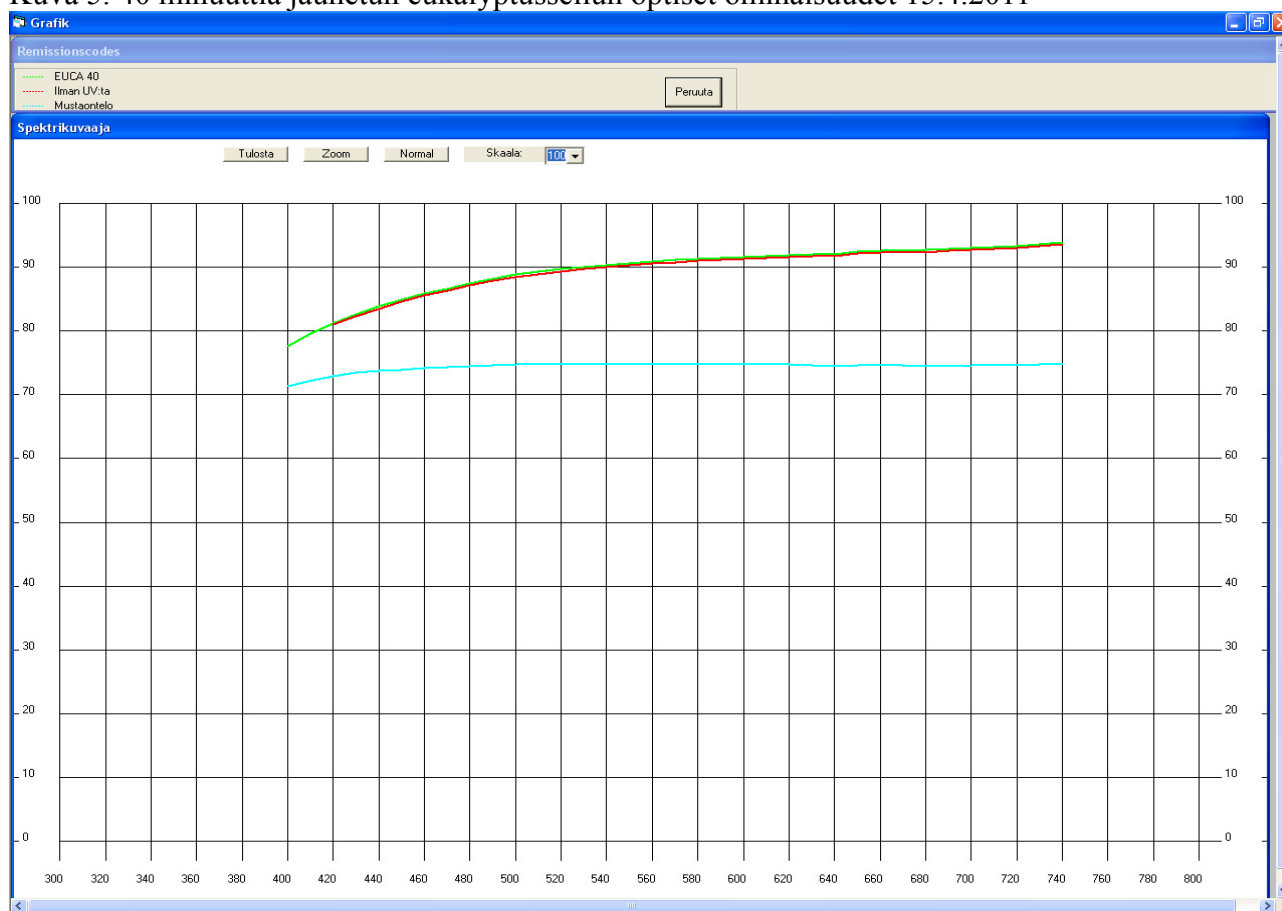
Kuva 3. 20 minuuttia jauhetun eukalyptussellun optiset ominaisuudet 15.4.2011



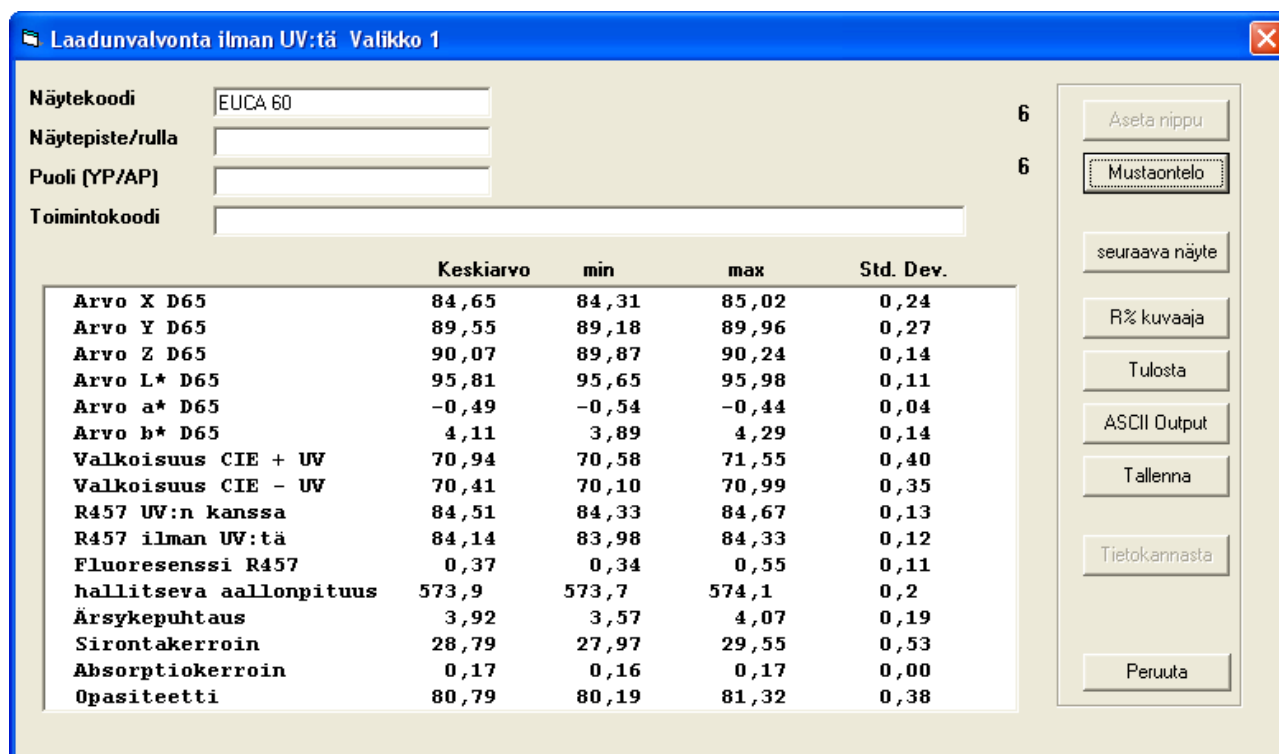
Kuva 4. 20 minuuttia jauhetun eukalyptussellun värin intensiteettijakauma välillä 400-740 nm 15.4.2011



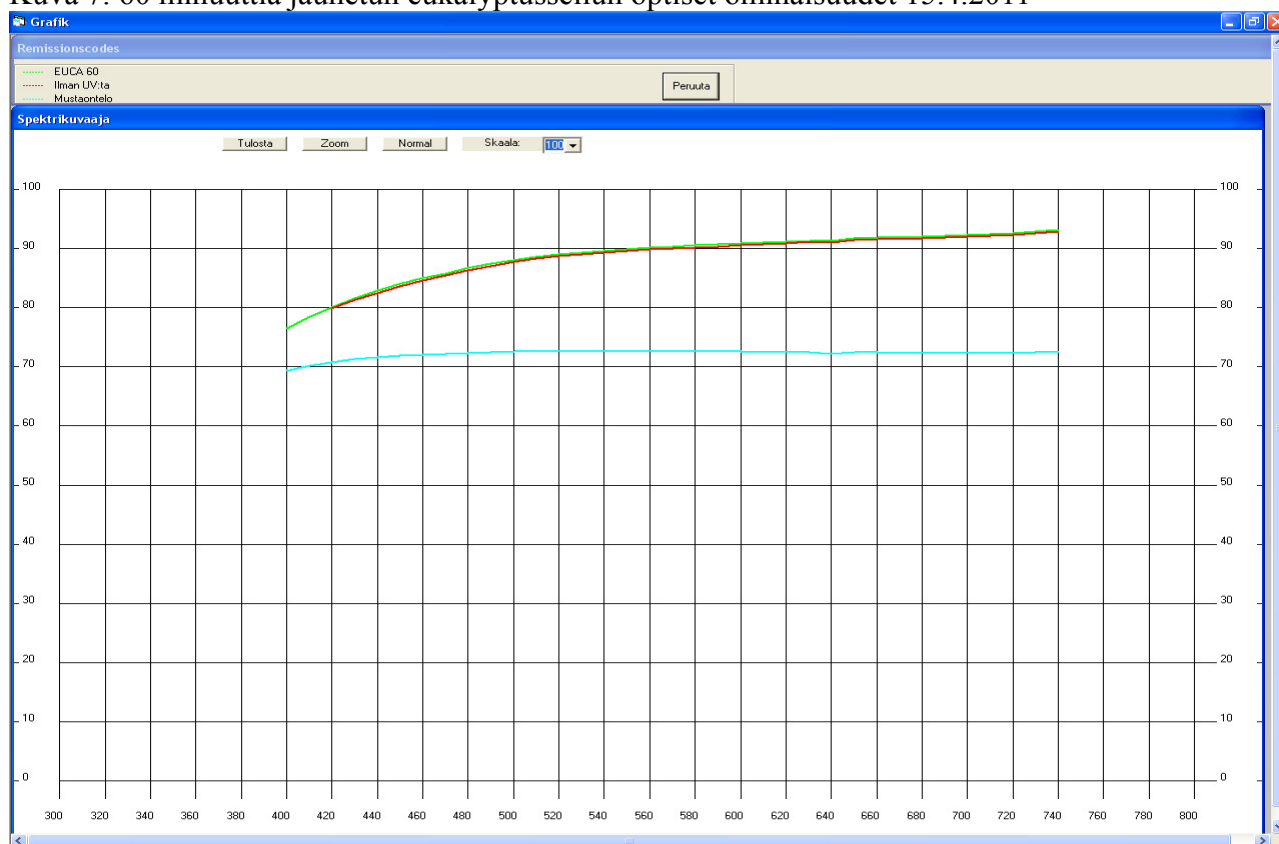
Kuva 5. 40 minuuttia jauhetun eukalyptussellun optiset ominaisuudet 15.4.2011



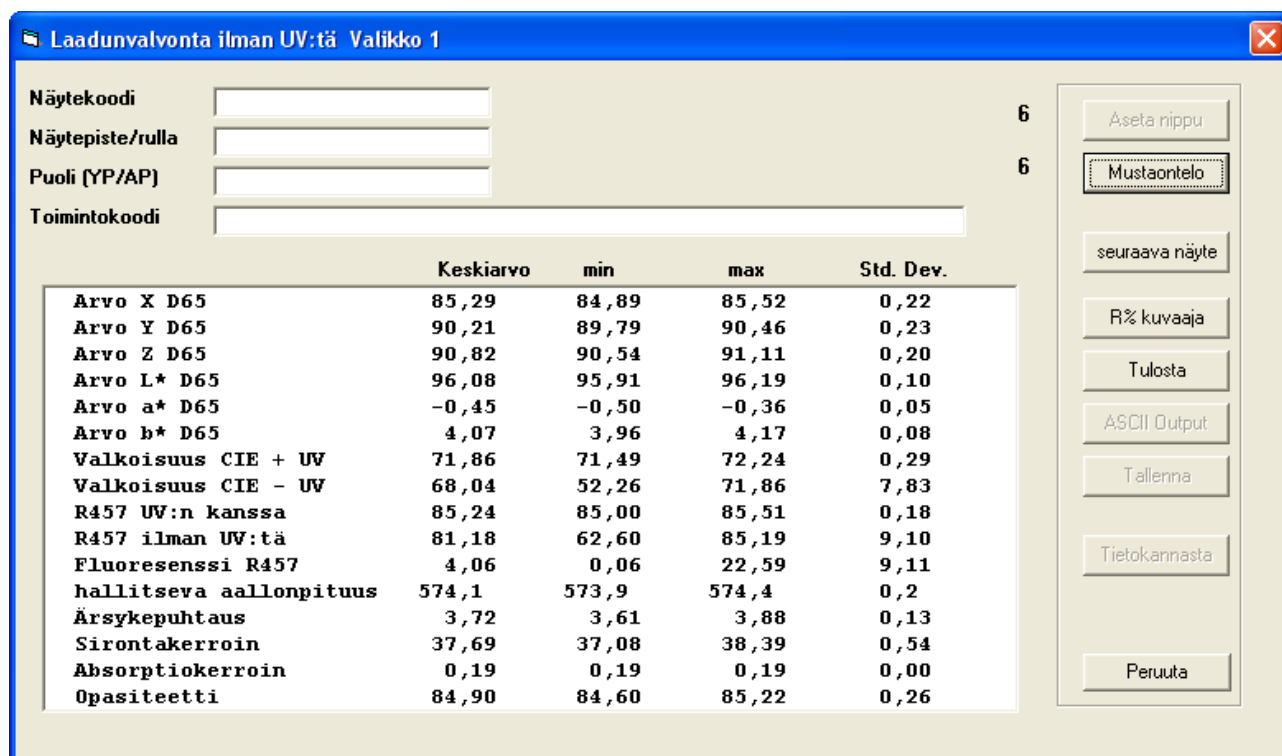
Kuva 6. 40 minuuttia jauhetun eukalyptussellun värin intensiteettijakauma välillä 400-740 nm 15.4.2011



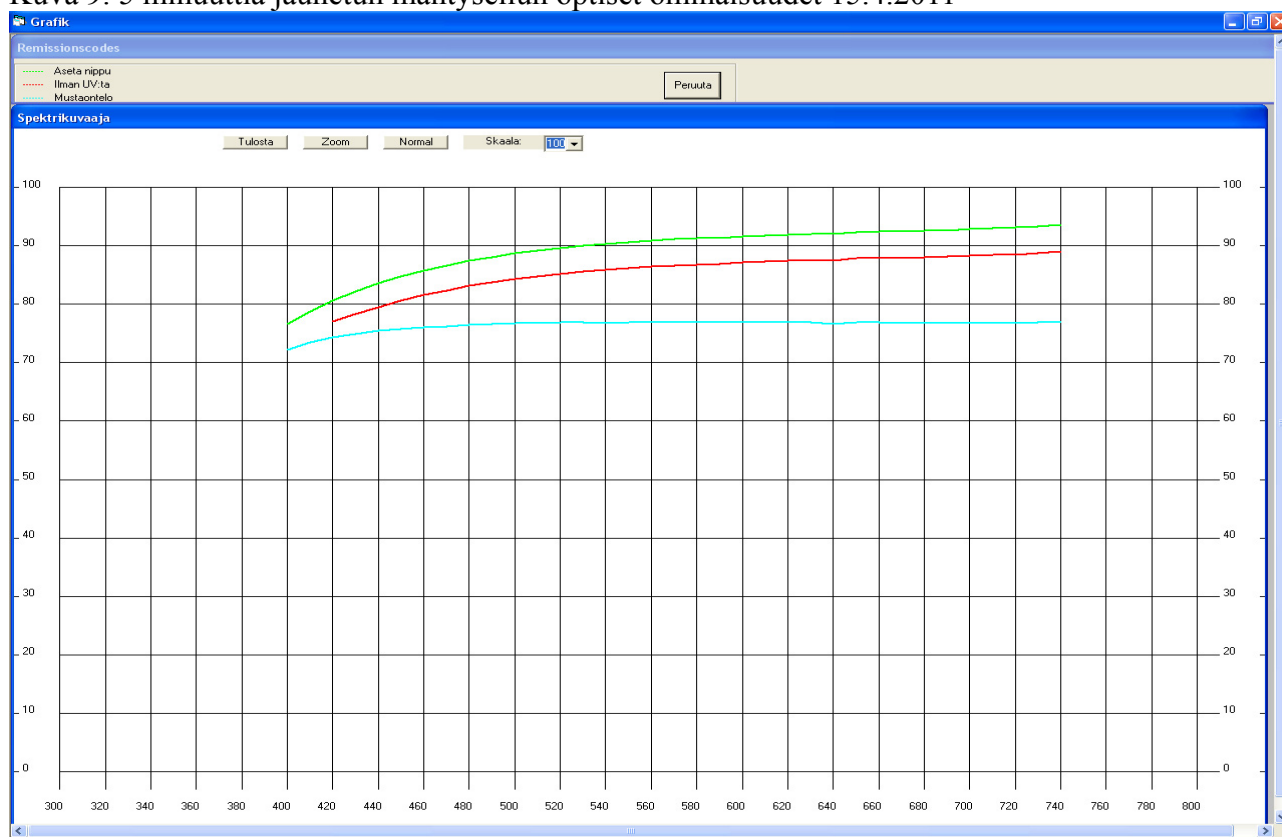
Kuva 7. 60 minuuttia jauhetun eukalyptussellun optiset ominaisuudet 15.4.2011



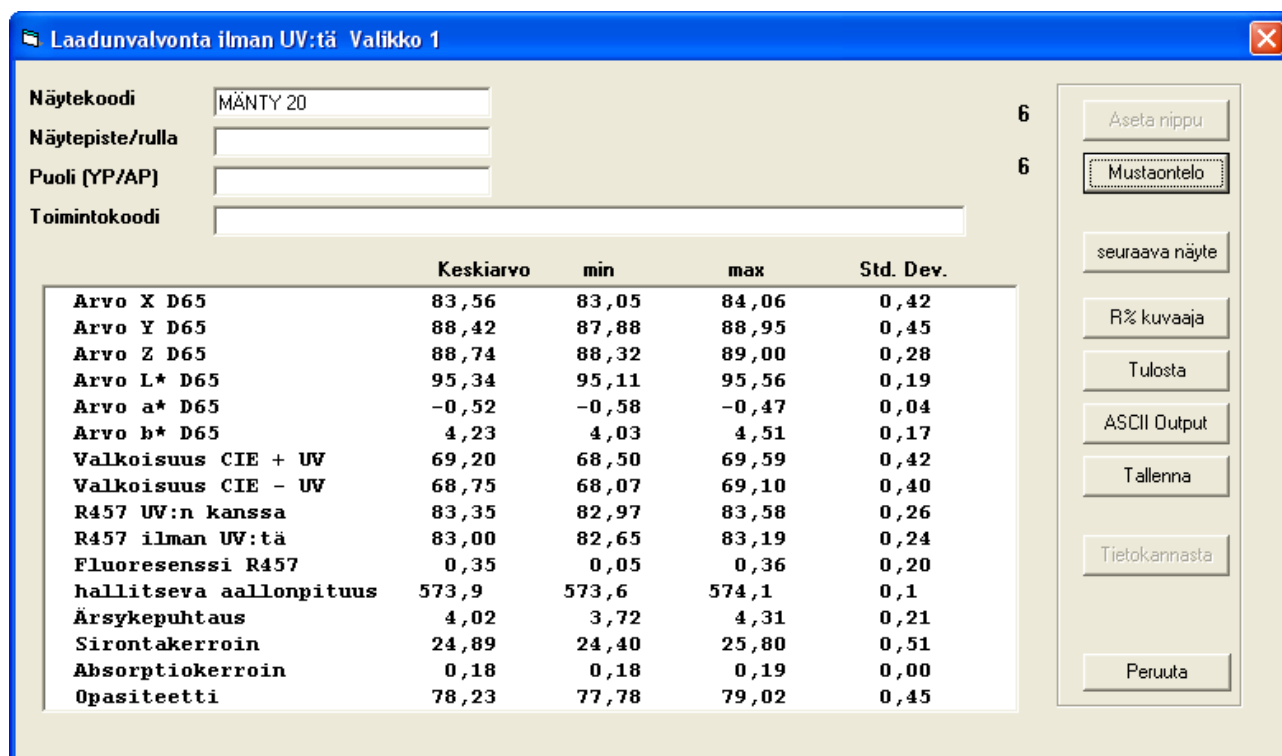
Kuva 8. 60 minuuttia jauhetun eukalyptussellun värin intensiteettijakauma välillä 400-740 nm 15.4.2011



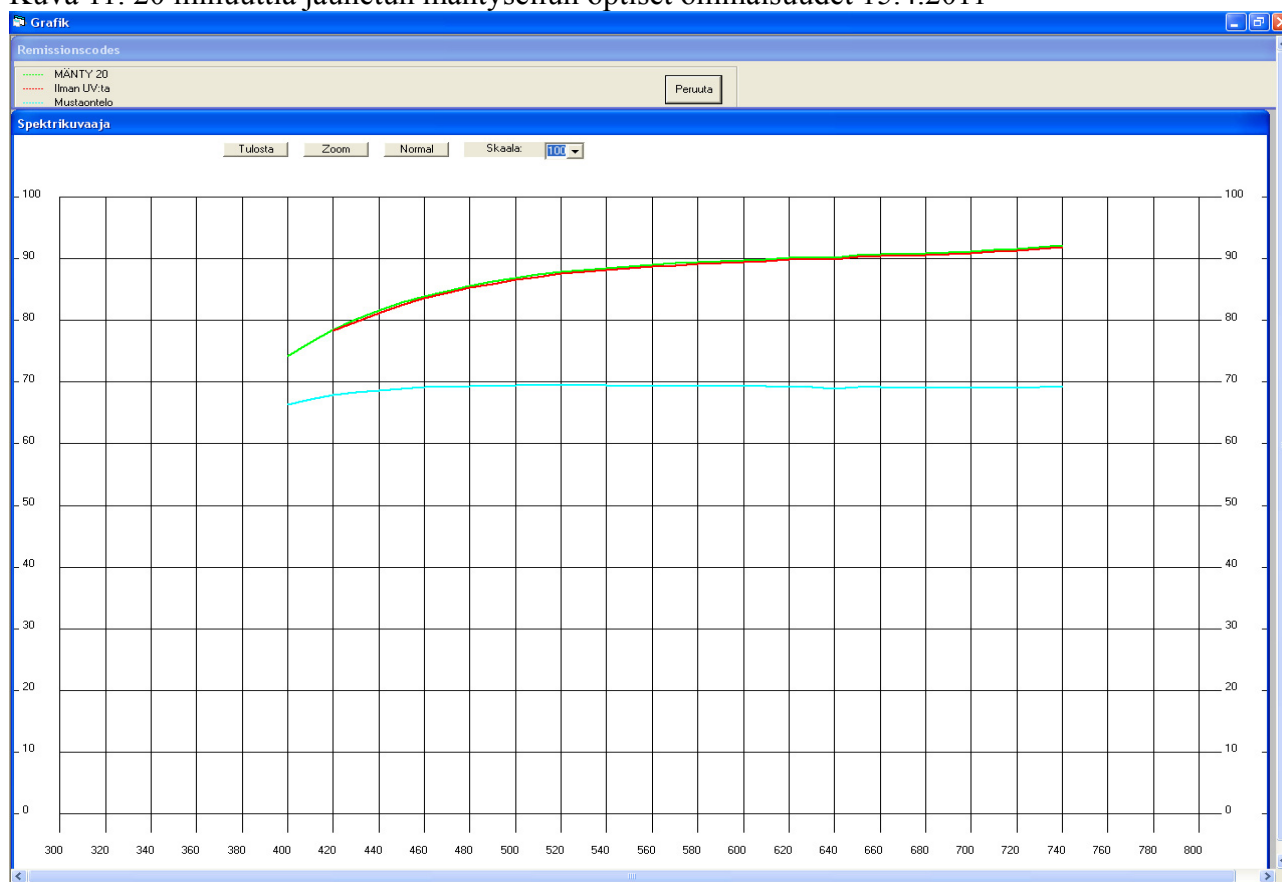
Kuva 9. 5 minuuttia jauhetun mäntysellun optiset ominaisuudet 15.4.2011



Kuva 10. 5 minuuttia jauhetun mäntysellun värin intensiteettijakauma välillä 400-740 nm 15.4.2011



Kuva 11. 20 minuuttia jauhetun mäntysellun optiset ominaisuudet 15.4.2011



Kuva 12. 20 minuuttia jauhetun mäntysellun värin intensiteettijakauma välillä 400-740 nm 15.4.2011

Laadunvalvonta ilman UV:tä Valikko 1

Näytekoodi: MÄNTY 40

Näytepiste/rulla:

Puoli (YP/AP):

Toimintokoodi:

6

6

Aseta nippu

Mustaontelo

seuraava näyte

R% kuvaaja

Tulosta

ASCII Output

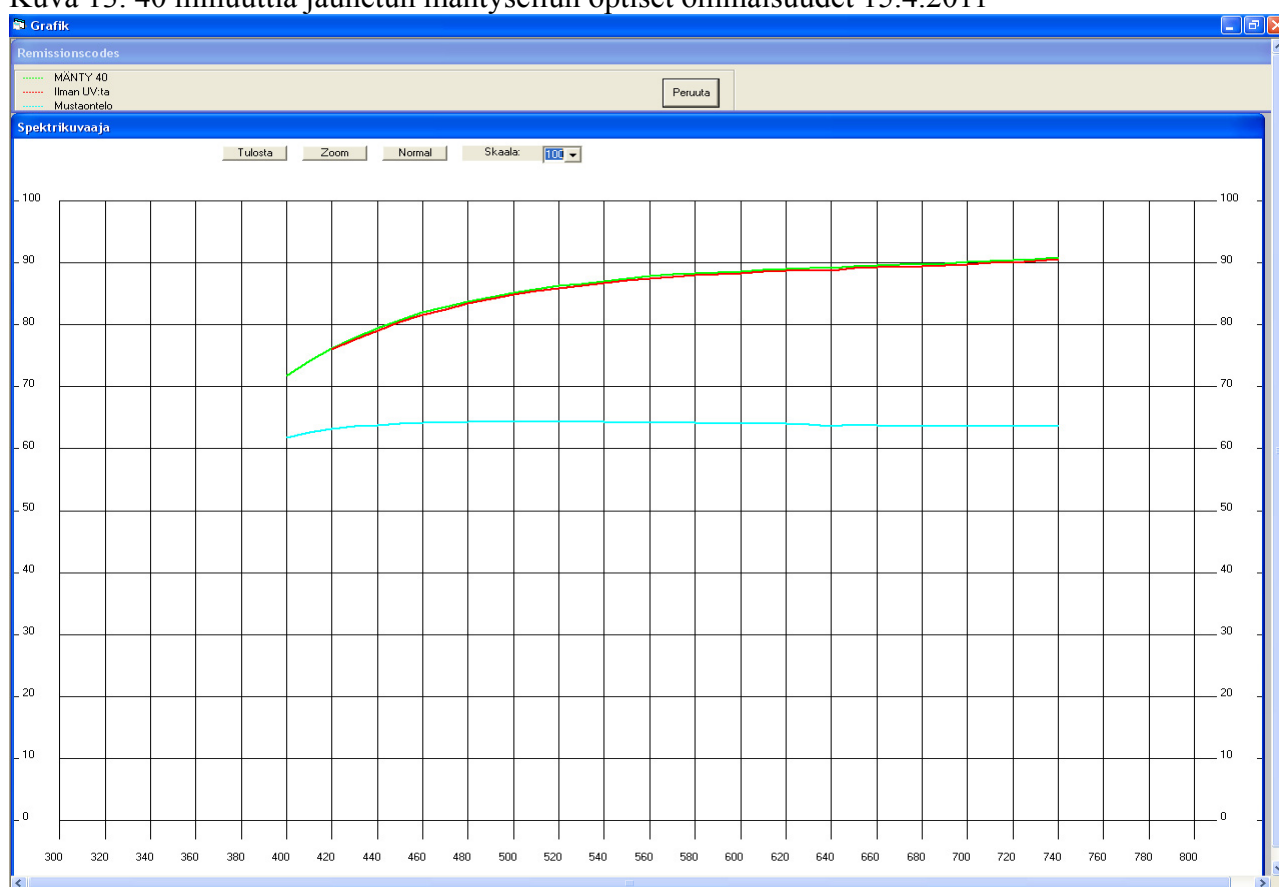
Tallenna

Tietokannasta

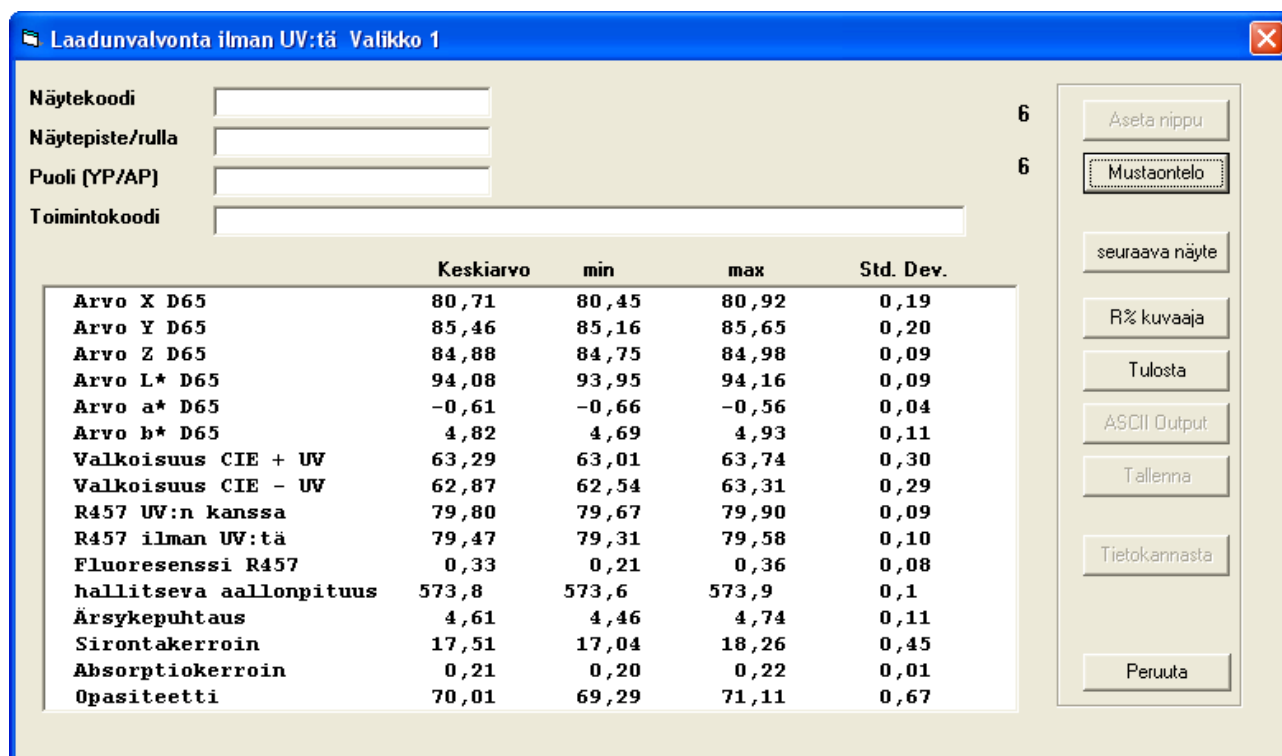
Peruuta

	Keskiarvo	min	max	Std. Dev.
Arvo X D65	82,29	82,11	82,44	0,13
Arvo Y D65	87,03	86,82	87,14	0,12
Arvo Z D65	86,56	86,26	86,84	0,20
Arvo L* D65	94,75	94,66	94,80	0,05
Arvo a* D65	-0,44	-0,54	-0,32	0,08
Arvo b* D65	4,77	4,58	4,85	0,10
Valkoisuus CIE + UV	65,26	64,74	66,15	0,50
Valkoisuus CIE - UV	64,82	64,27	65,66	0,48
R457 UV:n kanssa	81,35	81,08	81,60	0,17
R457 ilman UV:tä	81,01	80,73	81,25	0,17
Fluoresenssi R457	0,34	0,10	0,35	0,14
hallitseva aallonpituus	574,3	574,0	574,7	0,3
Ärsykepuhtaus	4,49	4,27	4,67	0,14
Sirontakerroin	20,24	20,00	20,39	0,16
Absorptiokerroin	0,19	0,18	0,19	0,00
Opasiteetti	73,51	73,21	73,70	0,19

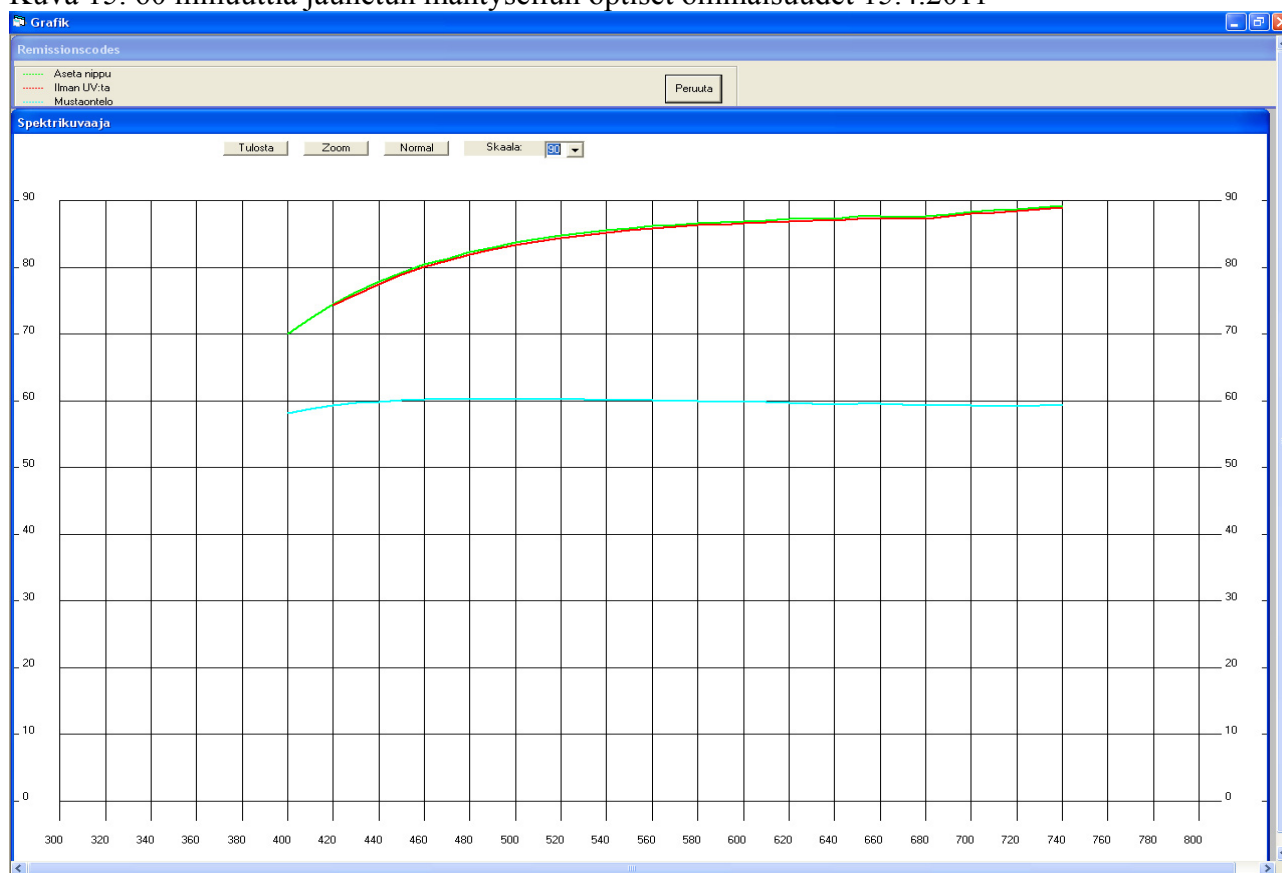
Kuva 13. 40 minuuttia jauhetun mäntysellun optiset ominaisuudet 15.4.2011



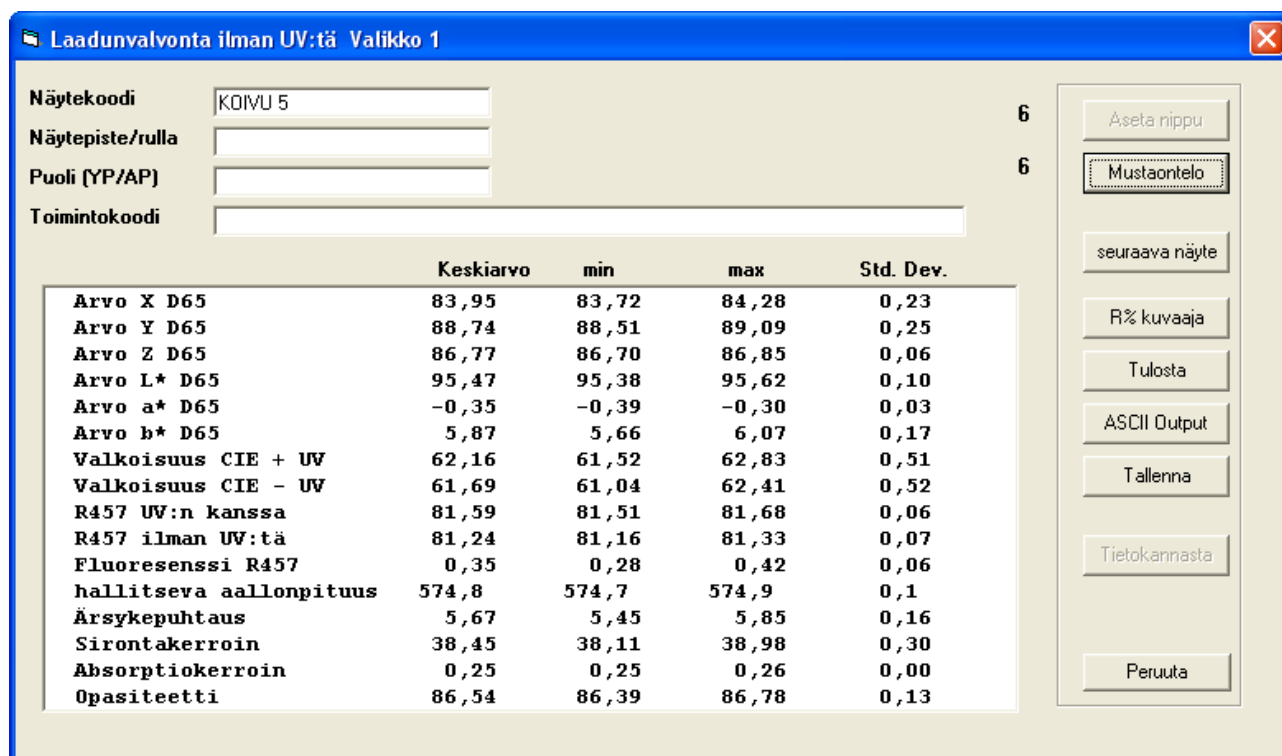
Kuva 14. 40 minuuttia jauhetun mäntysellun värin intensiteettijakauma välillä 400-740 nm 15.4.2011



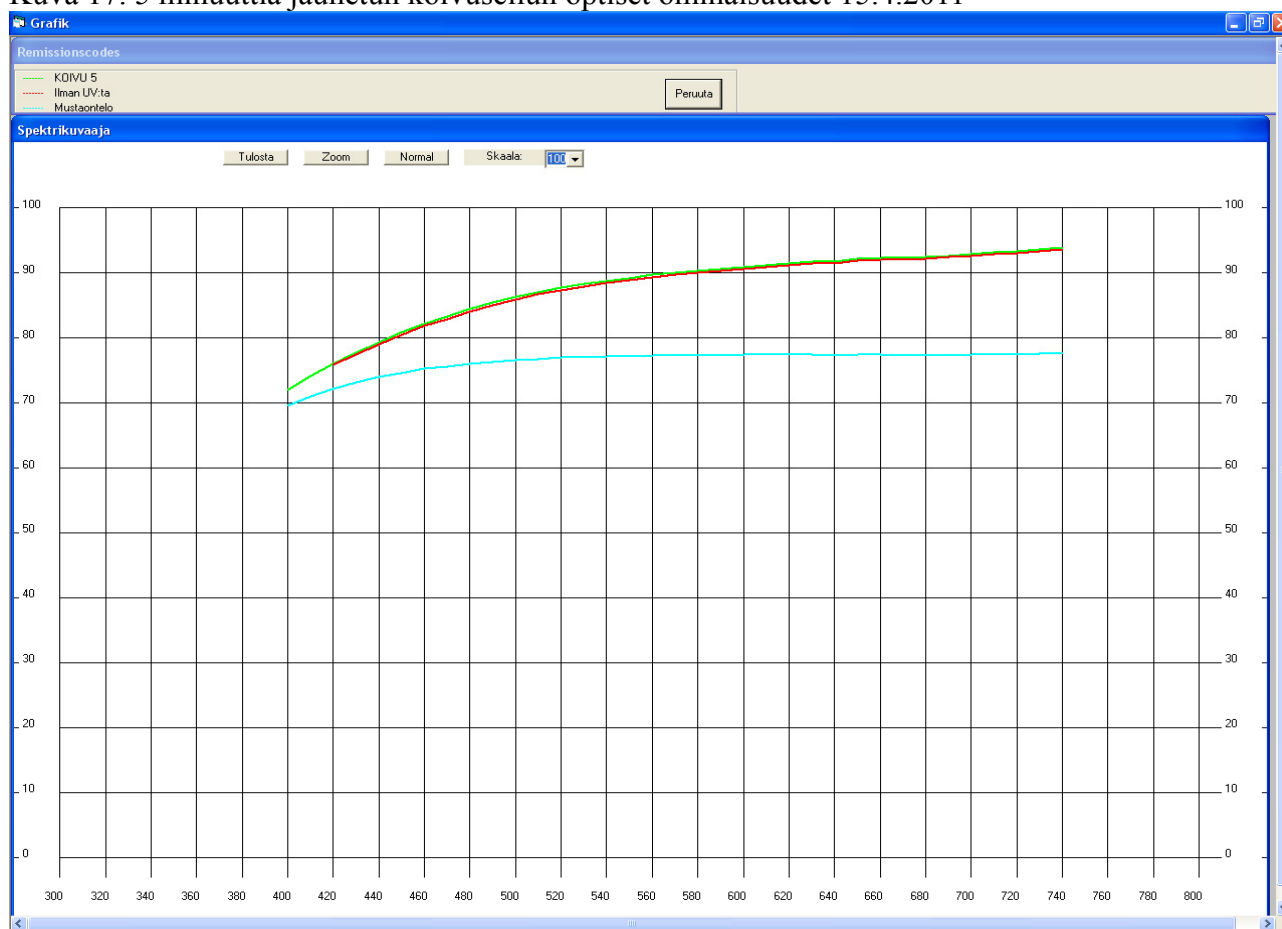
Kuva 15. 60 minuuttia jauhetun mäntysellun optiset ominaisuudet 15.4.2011



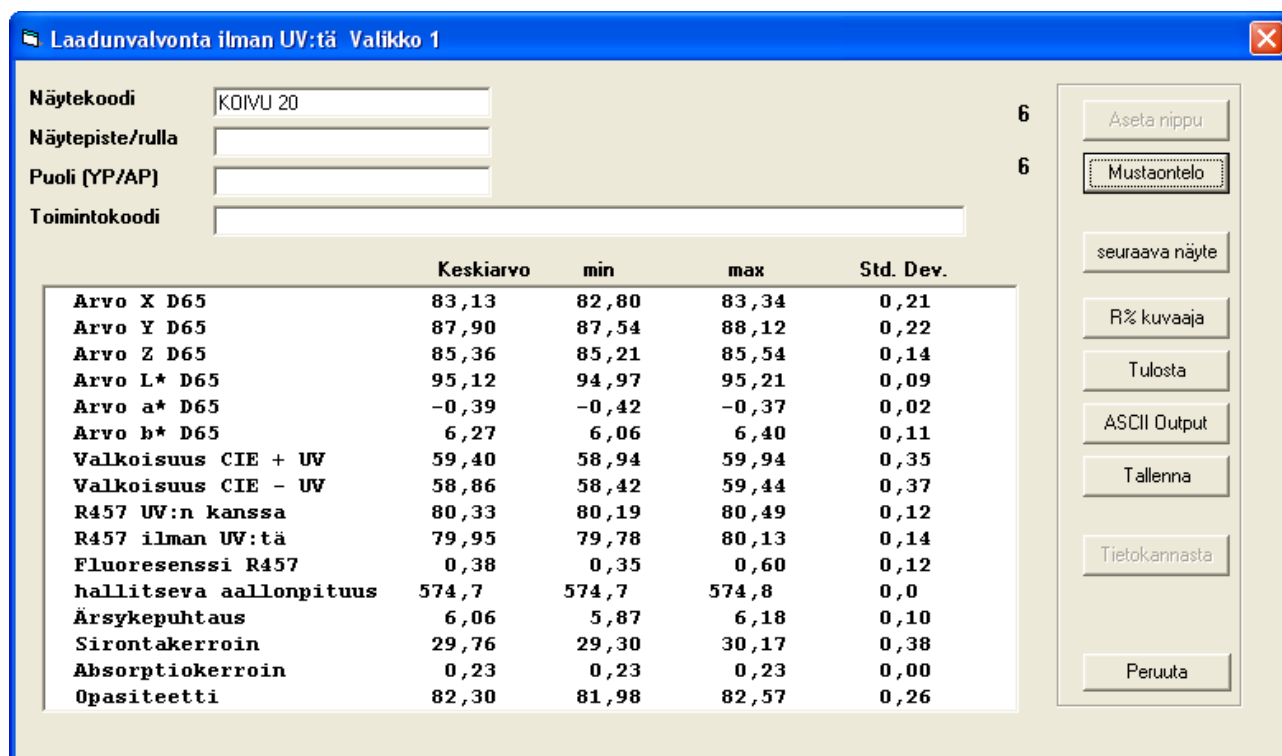
Kuva 16. 60 minuuttia jauhetun mäntysellun värin intensiteettijakauma välillä 400-740 nm 15.4.2011



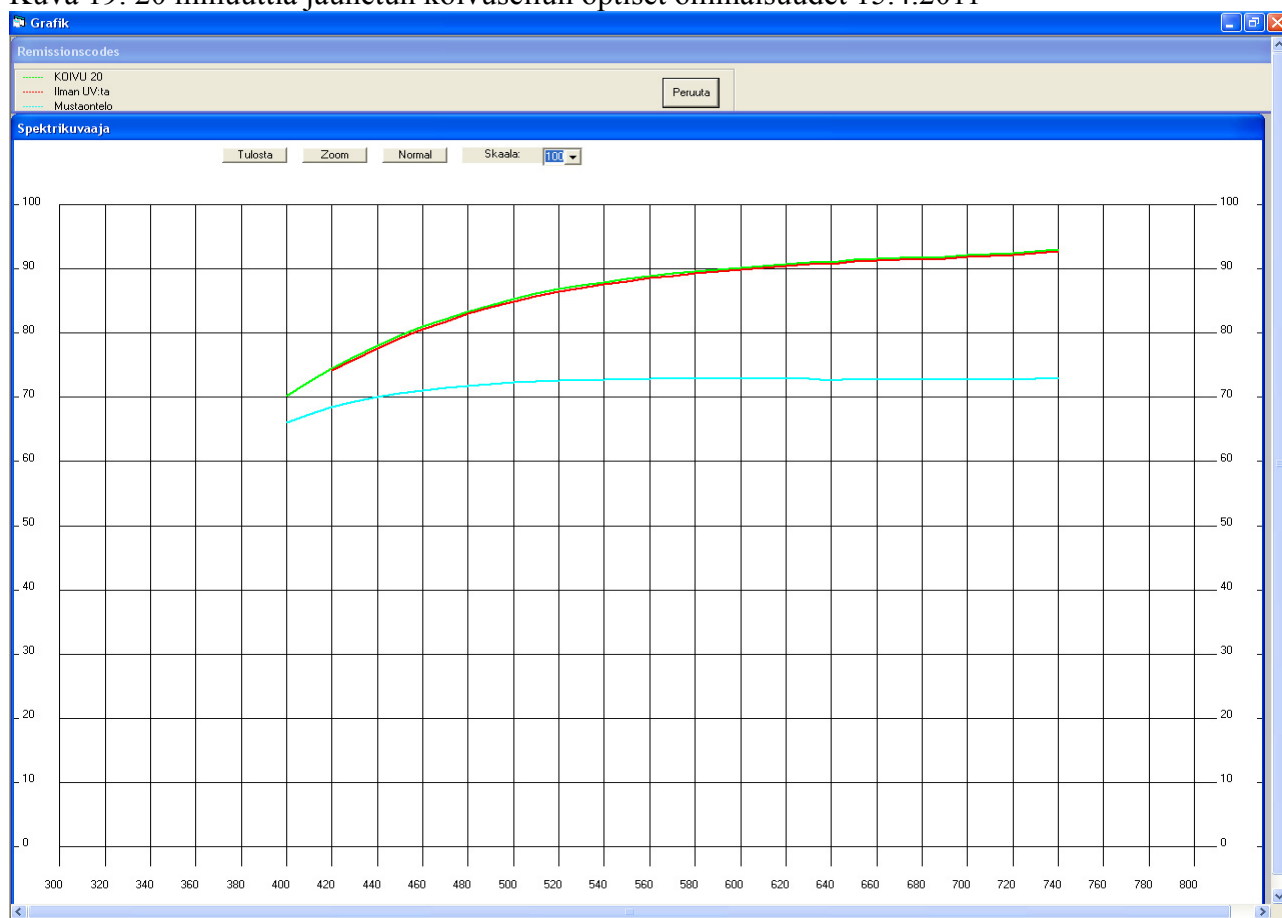
Kuva 17. 5 minuuttia jauhetun koivusellun optiset ominaisuudet 15.4.2011



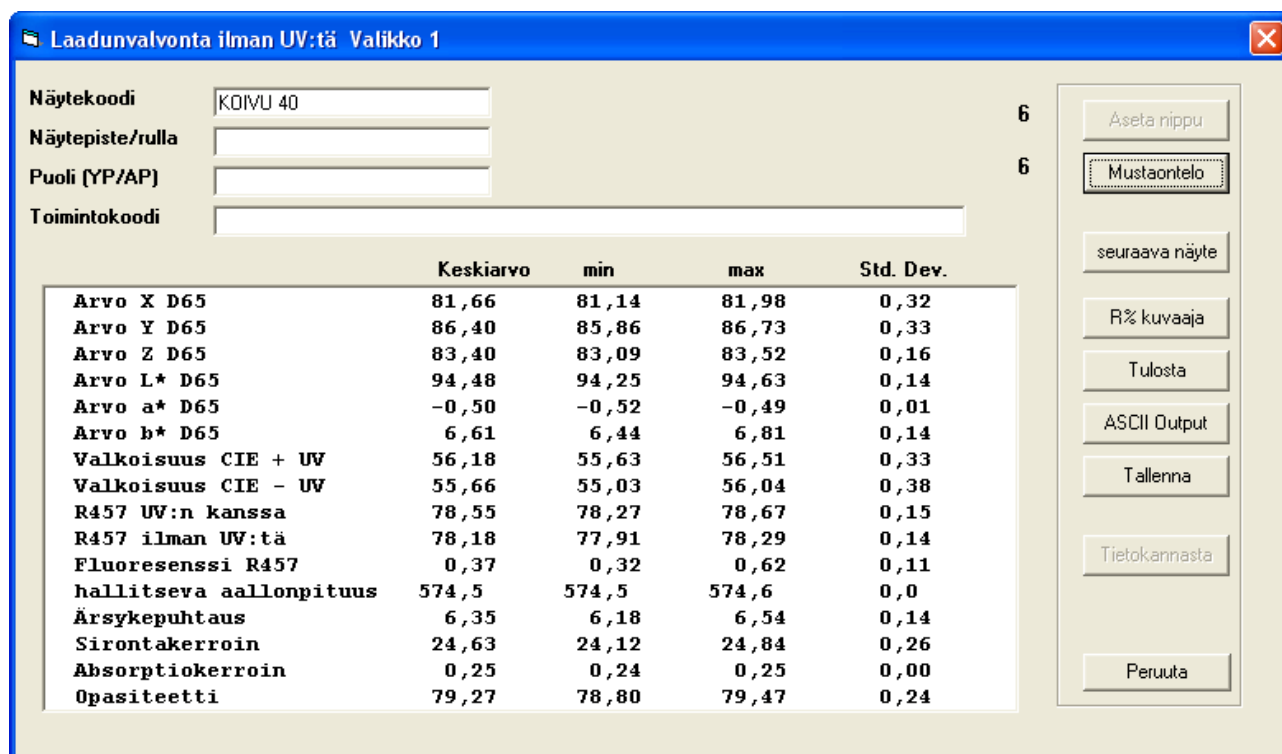
Kuva 18. 5 minuuttia jauhetun koivusellun värin intensiteettijakauma välillä 400-740 nm 15.4.2011



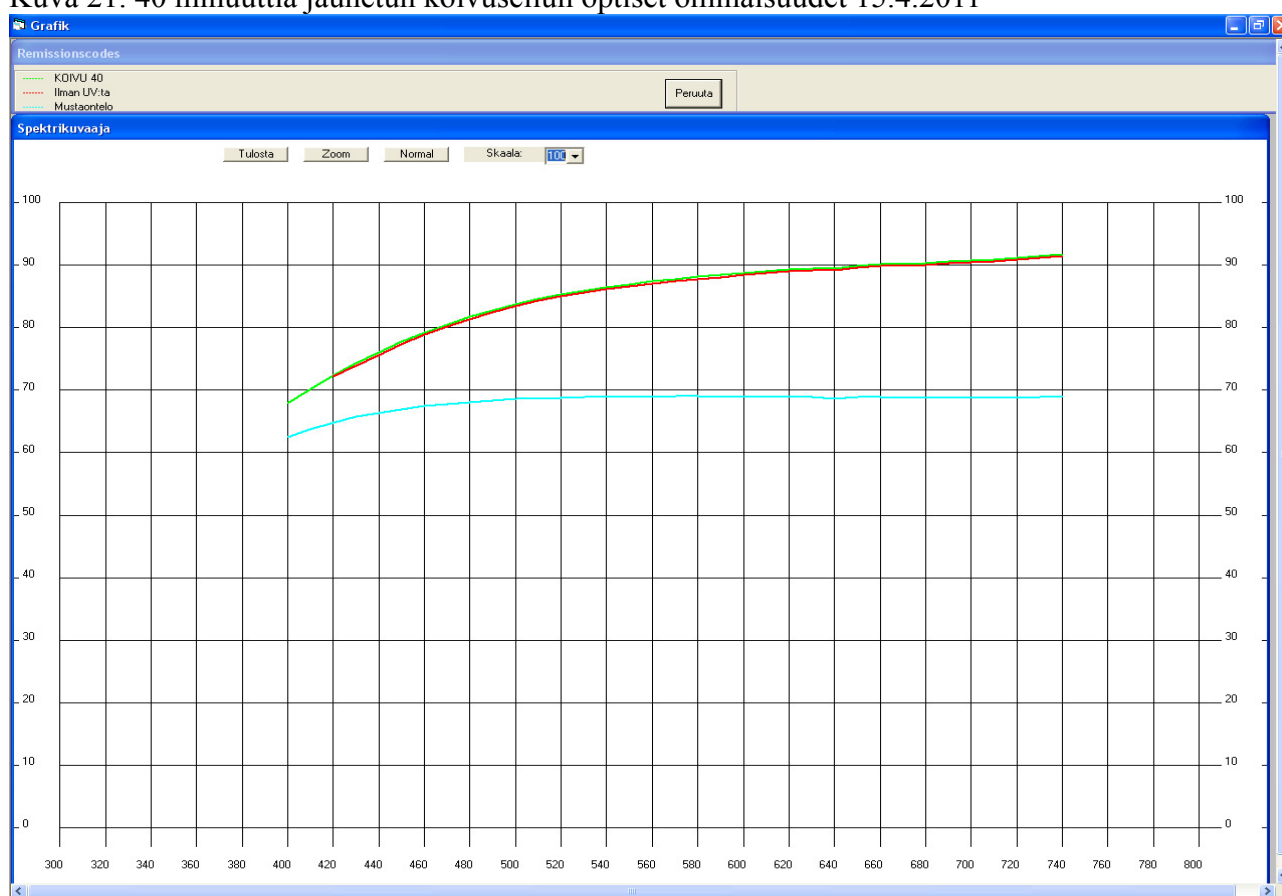
Kuva 19. 20 minuuttia jauhetun koivusellun optiset ominaisuudet 15.4.2011



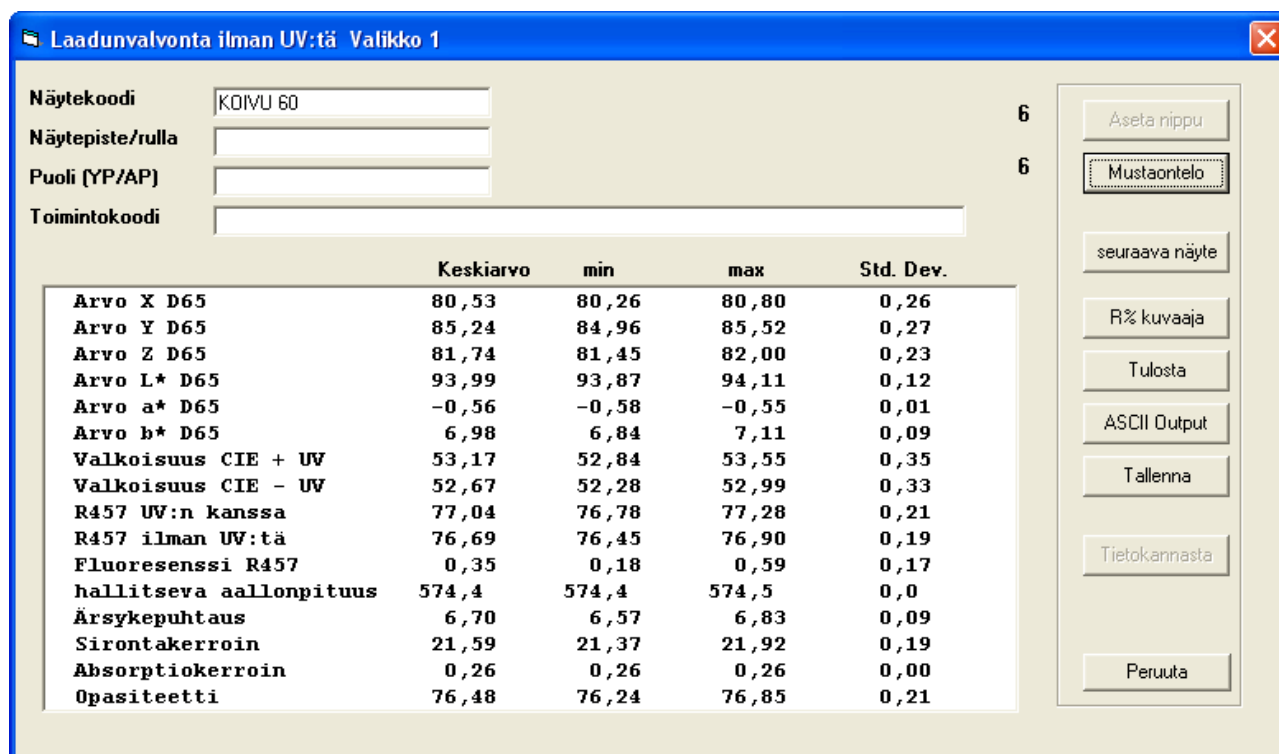
Kuva 20. 20 minuuttia jauhetun koivusellun värin intensiteettijakauma välillä 400-740 nm 15.4.2011



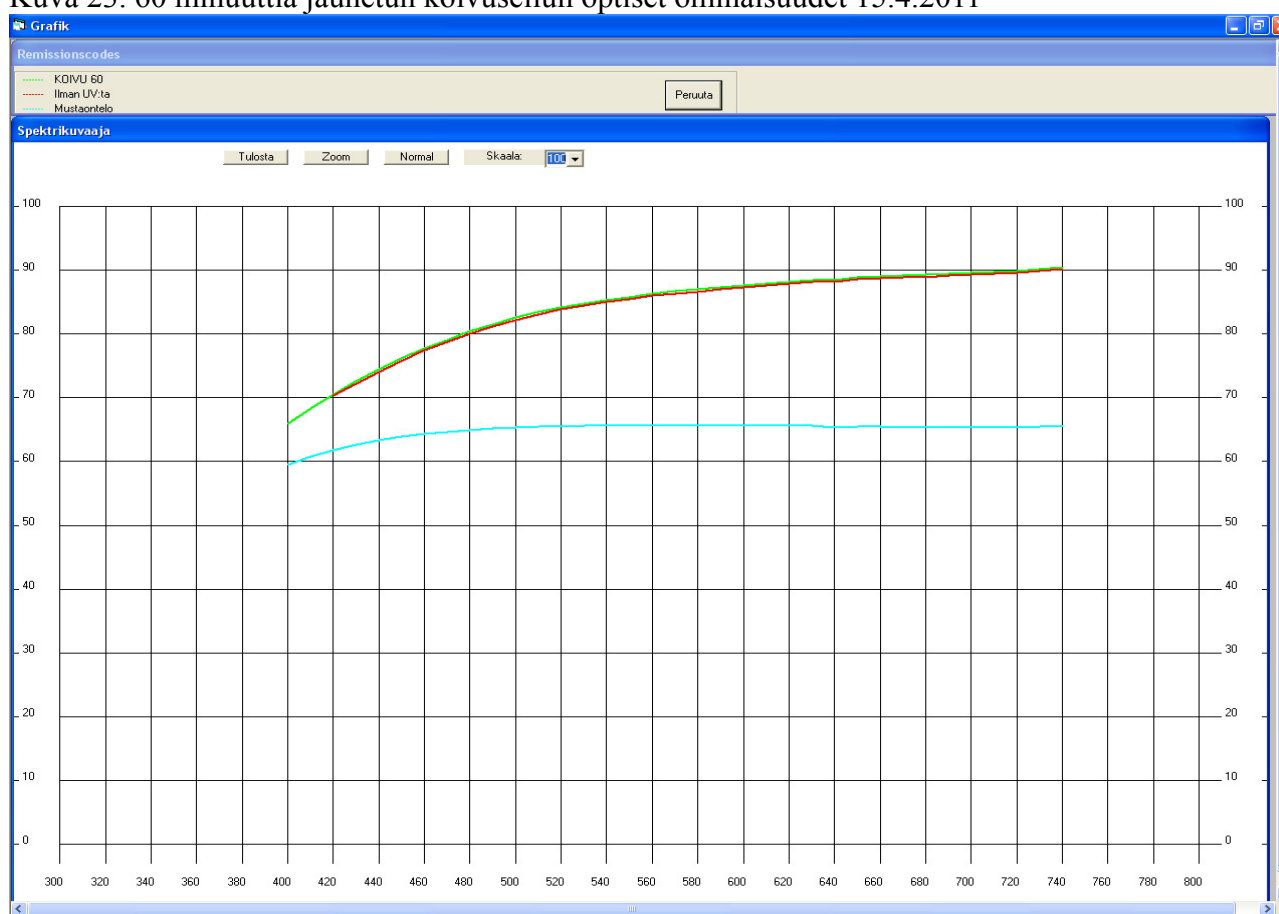
Kuva 21. 40 minuuttia jauhetun koivusellun optiset ominaisuudet 15.4.2011



Kuva 22. 40 minuuttia jauhetun koivusellun värin intensiteettijakauma välillä 400-740 nm. 15.4.2011



Kuva 23. 60 minuuttia jauhetun koivusellun optiset ominaisuudet 15.4.2011



Kuva 24. 60 minuuttia jauhetun koivusellun värin intensiteettijakauma välillä 400-740 nm. 15.4.2011

